



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade de Tecnologia - FT  
Departamento de Engenharia Elétrica - ENE

Projeto de Graduação  
em  
Engenharia Elétrica

**AS ESTRUTURAS METÁLICAS DAS EDIFICAÇÕES  
COMO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**Sérgio Ricardo Carvalho Noletto**

Brasília – DF, dezembro de 2006.



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade de Tecnologia - FT  
Departamento de Engenharia Elétrica - ENE

Projeto de Graduação  
em  
Engenharia Elétrica

**AS ESTRUTURAS METÁLICAS DAS EDIFICAÇÕES  
COMO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA  
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**Por:  
Sérgio Ricardo Carvalho Noieto**

**Orientador:  
Professor Alcides Leandro da Silva**

Brasília – DF, dezembro de 2006.



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade de Tecnologia - FT  
Departamento de Engenharia Elétrica - ENE

# **AS ESTRUTURAS METÁLICAS DAS EDIFICAÇÕES COMO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**Por:  
Sérgio Ricardo Carvalho Noletto**

Monografia submetida ao Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília – UnB, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Banca Examinadora:

---

Prof. Alcides Leandro da Silva, Mestre (UnB)  
(Orientador)

---

Prof. Francisco Damasceno Freitas, Doutor (UnB)  
(Examinador)

---

Prof. Mauro Moura Severino, Mestre (UnB)  
(Examinador)

Brasília – DF, dezembro de 2006.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Noletto, Sérgio Ricardo Carvalho,

As Estruturas Metálicas das Edificações como Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas / Sérgio Ricardo Carvalho Noletto. – Brasília-DF: UnB/FT/ENE, 2006.  
xiii, 124p.: il.; 31 cm.

Monografia de Graduação - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

Orientador: Alcides Leandro da Silva

1. Descargas Atmosféricas. 2. Proteção Contra Choques Elétricos. 3. Pára-Raios. 4. SPDA. 5. Estruturas Metálicas das Edificações - I. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Noletto, Sérgio Ricardo Carvalho (2006). As Estruturas Metálicas das Edificações como Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (Monografia de Graduação), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

## **RESUMO**

A importância da proteção contra descargas atmosféricas, utilizando as partes metálicas embutidas nas colunas e vigamentos das edificações como meios de escoamento das correntes oriundas desse fenômeno, é o foco principal desta pesquisa.

As visitas de campo possibilitaram verificar a efetiva aplicação das normas NBR 5410/2004 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), NBR 5419/2005 (Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas) e da NR – 10 (Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho, que trata de segurança em serviços com Eletricidade). As estruturas metálicas atuando como sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, suas implicações na construção civil e a aceitação pelos construtores e engenheiros também foram verificadas.

Construções que atendiam aos critérios de aplicação das normas e edificações onde se desconsideravam as exigências legais e a importância do sistema de aterramento baseado nas estruturas metálicas foram constatadas. Verificou-se, adicionalmente, a construção de estruturas metálicas com a inserção da RE-BAR, e o desconhecimento por parte de alguns construtores da necessidade de inserir barras exclusivamente dedicadas a sistemas de aterramento e SPDA.

Finalmente, a pesquisa revelou que grande parte dos engenheiros civis ignora ou desconhece as técnicas de SPDA e aterramento baseadas na utilização das estruturas metálicas das edificações, fato comprovado pelos baixos índices de utilização dessa tecnologia em novas construções. O trabalho constatou, ainda, que a maioria das edificações no Distrito Federal não conta com sistemas de SPDA e aterramentos baseados nas estruturas metálicas das próprias construções.

## **DEDICATÓRIAS**

À minha filha, Rafaela, por sua graciosidade, energia e por fazer da sua existência a fonte da minha vida.

À minha esposa, Mariela, que tanto me incentivou nos momentos de dificuldade pelos quais passamos.

Aos meus irmãos Norberto Júnior e Kadu, que muito me incentivaram ao longo dessa jornada.

Aos meus pais Norberto e Dora, que acreditaram no meu potencial e investiram na concretização dessa tarefa.

**Sérgio Ricardo Carvalho Noletto**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a Deus, por ter me dado força para completar essa árdua jornada.

Agradeço a minha querida família, minha filha, minha esposa, meus pais e meus irmãos pelo apoio nas horas mais difíceis e por acreditarem no meu potencial.

Agradeço as minhas tias Rosimeire e Nelma, e à minha Madrinha Iraneth, pelo auxílio na conclusão dessa tarefa.

Agradeço a minha sogra Marilene, aos meus cunhados Yure e Edmar, pelo apoio na conclusão de mais essa etapa.

Agradeço aos companheiros do Departamento de Serviços Bancários do Banco de Brasília, pela flexibilidade de horário e compreensão na rotina de trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Civil Ênio Cordeiro Lins, pelo auxílio no esclarecimento de diversos pontos duvidosos e pela disposição nas visitas técnicas.

Finalmente, agradeço ao professor Alcides Leandro, mais que um mestre, um amigo.

**Sérgio Ricardo Carvalho Noletto**

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1 – Metodologia.....	02
<b>2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>04</b>
2.1 – Histórico sobre descargas atmosféricas.....	04
2.2 – Origem e formação das descargas atmosféricas.....	08
2.2.1 – As causas da eletrização das nuvens.....	08
2.2.2 – A indução de cargas e a quebra da rigidez dielétrica.....	08
2.2.3 – O movimento da carga líder.....	10
2.2.4 – Líderes conectantes e descarga de retorno.....	11
2.2.5 – O relâmpago.....	12
2.2.6 – Relâmpagos múltiplos.....	13
2.2.7 – Raios nuvem – solo positivos.....	14
2.2.8 – Maior incidência de raios.....	14
2.3 – Índice cerâmico.....	15
2.4 – Medidores e contadores de descargas.....	17
2.5 – Densidade de raios.....	19
2.6 – Tipos de raios.....	19
2.7 – Forma do raio.....	20
2.8 – Valores dos raios.....	21
2.9 – Magnitude de corrente do raio.....	22
<b>3 – EFEITOS DO RAIOS EM ESTRUTURAS.....</b>	<b>24</b>
3.1 – Níveis de proteção contra descargas atmosféricas.....	24
3.2 – Eficiência do SPDA.....	24
3.3 – Classificação e os efeitos dos raios nas estruturas.....	25
3.4 – Área de captação do raio em uma estrutura.....	27
3.5 – Índice de risco.....	28

<b>4 – MÉTODOS DE PROTEÇÃO.....</b>	<b>31</b>
4.1 – Componentes de um sistema de proteção.....	31
4.2 – Os métodos de proteção.....	35
4.2.1 – O método Franklin.....	35
4.2.1.1 – O ângulo de proteção.....	39
4.2.1.2 – Determinação do volume de proteção.....	40
4.2.2 – Método de gaiola ou da malha de Faraday.....	41
4.2.2.1 – Lei de Lenz.....	41
4.2.2.2 – Princípio de proteção por Faraday.....	42
4.2.2.3 – Dimensões dos anéis da gaiola de Faraday.....	43
4.2.3 – Modelo eletrogeométrico.....	46
4.2.3.1 – Zona espacial de proteção.....	47
4.3 – Comentários e comparativo entre os três métodos.....	48
4.3.1 – Método Franklin.....	48
4.3.2 – Método Faraday.....	48
4.3.3 – Método eletrogeométrico.....	49
4.4 – Os captores.....	49
4.4.1 – Materiais e dimensionamento dos captores.....	49
4.4.2 – Captores radioativos.....	51
4.5 – Os condutores de descida.....	51
4.5.1 – Indutância dos condutores de descida.....	52
4.5.2 – Materiais para as descidas.....	55
4.5.3 – Dimensões.....	55
4.5.4 – Quantidade, espaçamento e encaminhamento das descidas.....	55
4.5.5 – Superfícies equipotenciais na estrutura.....	56
4.6 – Sistemas de aterramento.....	58
4.6.1 – Medição da resistência de aterramento.....	61
4.6.2 – Melhoria da resistência de terra.....	65
4.6.3 – Materiais, dimensionamento e resistência de aterramento.....	66

---

<b>5 – AS ESTRUTURAS METÁLICAS DAS EDIFICAÇÕES COMO SPDA E ATERRAMENTO.....</b>	<b>68</b>
5.1 - Viabilidade e compatibilidade das estruturas metálicas como SPDA e aterramento.....	69
5.2 – Re-Bar (Reinforcing Bars).....	74
5.3 – Ensaio de continuidade das armaduras.....	75
<b>6 – DETALHES EXECUTIVOS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS DAS EDIFICAÇÕES COMO SPDA E ATERRAMENTO.....</b>	<b>77</b>
<b>7 – RESTRIÇÕES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....</b>	<b>105</b>
7.1 – Concreto armado.....	105
7.1.1 – Os possíveis riscos.....	105
7.1.2 – O aquecimento das barras.....	106
7.1.3 – Os arcos nas junções.....	107
7.1.4 – Os efeitos das descargas elétricas no concreto.....	107
7.1.5 – A execução segura.....	108
7.1.6 – O concreto pré – moldado.....	109
<b>8 – AS INTERFERÊNCIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E A ACEITAÇÃO PELOS CONSTRUTORES.....</b>	<b>110</b>
<b>9 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>113</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>118</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Desenho de Zeus.....	05
Figura 2.2 – Experiência de Franklin.....	06
Figura 2.3 – Campo Elétrico Nuvem – Solo.....	09
Figura 2.4 – Canal Induzido.....	10
Figura 2.5 – Descarga Atmosférica.....	12
Figura 2.6 – Descarga de Retorno.....	14
Figura 2.7 – Mapa Isocerâunico do Brasil.....	16
Figura 2.8 – Formato do Raio.....	20
Figura 2.9 – Raio Seco.....	23
Figura 2.10 – Raio na Encosta.....	23
Figura 3.1 – Área de Atração.....	27
Figura 4.1 – Captor.....	32
Figura 4.2 – Descidas.....	33
Figura 4.3 – Aterramento.....	34
Figura 4.4 – Método Franklin.....	36
Figura 4.5 – Volume de Proteção.....	37
Figura 4.6 – Cone de Proteção.....	38
Figura 4.7 – Corte Lateral.....	40
Figura 4.8 – Lei de Lenz.....	42
Figura 4.9 – Gaiola de Faraday.....	43
Figura 4.10 – Níveis de Proteção.....	44/45
Figura 4.11 – Zona Especial de Proteção.....	47
Figura 4.12 – Captor Radioativo.....	51
Figura 4.13 – Indutância dos Condutores de Descida.....	53
Figura 4.14 – Correntes Induzidas.....	54

Figura 4.15 – Caminho de Descida.....	56
Figura 4.16 – Tensões Induzidas.....	57
Figura 4.17 – Superfícies Equipotenciais.....	58
Figura 4.18 – Medição da resistência de aterramento.....	63
Figura 6.1 – Detalhe Interligação da Estrutura Metálica.....	77
Figura 6.2 – Detalhe Caixa para Terra.....	78
Figura 6.3 – Detalhe Ferro Adicional no Tubulão.....	79
Figura 6.4 – Detalhe Interligação das Descidas no Pilares pela Viga Baldrame.....	80
Figura 6.5 – Detalhe Aterramento em Tubulão.....	81
Figura 6.6 – Detalhe Aterramento.....	82
Figura 6.7 – Detalhe Conexão no Pé do Pilar.....	83
Figura 6.8 – Detalhe Ferro Adicional no Pilar.....	84
Figura 6.9 – Detalhe Ferro Adicional na Viga Baldrame.....	84
Figura 6.10 – Detalhe Conexão do Ferro Adicional no Pilar.....	85
Figura 6.11 – Detalhe Encontro das Ferragens das Lajes com os Pilares.....	86
Figura 6.12 – Detalhe Barra Excedente de Descida.....	87
Figura 6.13 – Detalhe Ferro Adicional em Pilar.....	88
Figura 6.14 – Detalhe Interligação dos Pilares da Junta de Dilatação para Malha Equipotencial.....	89
Figura 6.15 – Detalhe Interligação dos Pilares da Junta de Dilatação.....	90
Figura 6.16 – Detalhe Opções de Amarração.....	91
Figura 6.17 – Detalhe Medição dos Alimentadores.....	92
Figura 6.18 – Detalhe Bloco de Fixação para Base.....	93
Figura 6.19 – Detalhe Caixa para Medição Equipotencial.....	94
Figura 6.20 – Detalhe Equipotencialização Principal.....	95
Figura 6.21 – Detalhe do Aterramento da Guia do Elevador.....	96
Figura 6.22 – Detalhe do Aterramento do Guarda Copo Metálico.....	97
Figura 6.23 – Detalhe Platibanda da Cobertura.....	98
Figura 6.24 – Detalhe Platibanda e Terminal Aéreo.....	99
Figura 6.25 – Detalhe Interligação da Cordoalha ao Rufo Metálico.....	100

Figura 6.26 – Detalhe Interligação da Ferragem ao Rufo Metálico.....	101
Figura 6.27 – Detalhe Antena Coletiva.....	102
Figura 6.28 – Detalhe Interligação da Cordoalha em Telha Metálica ou Fibro - Cimento.....	103
Figura 6.29 – Detalhe Pára – Raio tipo Franklin.....	104
Figura A1 - Detalhamento Captor Franklin.....	118
Figura A2 - Detalhamento Suporte Captor.....	118
Figura A3 - Detalhamento das Descidas.....	118
Figura A4 - Detalhamento da Malha.....	118
Figura A5 - Detalhamento das Descidas.....	119
Figura A6 - Detalhamento das Descidas.....	119
Figura A7 - Detalhamento dos Isoladores.....	119
Figura A8 - Pára-Raios Franklin.....	119
Figura A9 - Condutor de Descida.....	120
Figura A10 - Pára-Raios Franklin.....	120
Figura A11 - Condutor de Descida.....	120
Figura A12 - Aterramento.....	120
Figura A13 - Estaqueamento do terreno.....	121
Figura A14 - Sistema de Tubulão.....	121
Figura A15 - Detalhe Barra de Aterramento.....	121
Figura A16 - Detalhamento do Tubulão.....	121
Figura A17 - Detalhamento Aterramento.....	121
Figura A18 - Detalhamento Conexão.....	121
Figura A19 - Detalhamento Pé do Pilar.....	122
Figura A20 - Detalhe Amarração.....	122
Figura A21 - Detalhamento das Vigas.....	122
Figura A22 - Anel de Aterramento.....	122
Figura A23 - Detalhe Estrutura Metálica.....	122
Figura A24 - Caixa de Inspeção.....	123
Figura A25 - Barramento Equipotencial.....	123
Figura A26 - Malha de Aterramento.....	123

Figura A27 - Conexão Malha Aterramento.....	123
Figura A28 - Conexão Malha Aterramento.....	123
Figura A29 - Conexão Malha Aterramento.....	123
Figura A30 - Aterramento Massa Metálica.....	124
Figura A31 - Aterramento Massa Metálica.....	124
Figura A32 - Aterramento Antena TV.....	124
Figura A33 - Aterramento Massa Metálica.....	124
Figura A34 - Fixação Malha Aterramento.....	124
Figura A35 - Placa como Pára-Raios Natural.....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Índices Cerâmicos das Capitais Brasileiras.....	17
Tabela 2.2 – Valores do Raio.....	18
Tabela 2.3 – Descargas Diretas do Raio.....	22
Tabela 3.1 – Níveis de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.....	24
Tabela 3.2 – Eficiência dos Níveis de Proteção.....	25
Tabela 3.3 – Classificação das Estruturas.....	26
Tabela 3.4 – Fator de Ponderação em função do tipo de ocupação.....	29
Tabela 3.5 – Fator de Ponderação em função do material de construção e cobertura.....	29
Tabela 3.6 – Fator de Ponderação em função do conteúdo.....	29
Tabela 3.7 – Fator de Ponderação em função da localização.....	29
Tabela 3.8 – Fator de Ponderação em função da topografia.....	29
Tabela 3.9 – Necessidade de proteção em função da probabilidade.....	30
Tabela 4.1 – Ângulos do cone de proteção em função do nível de proteção para até 20m.....	39
Tabela 4.2 – Ângulos do cone de proteção em função do nível e da altura para até 60m.....	39
Tabela 4.3 – Nível de Proteção.....	41
Tabela 4.4 – Nível de Proteção.....	44
Tabela 4.5 – Nível de Proteção.....	44
Tabela 4.6 – Seções Mínimas para Captores.....	50
Tabela 4.7 – Espessuras Mínimas para Captores.....	50
Tabela 4.8 – Indutâncias para condutores de secção circular.....	53
Tabela 4.9 – Dimensões dos condutores de descida.....	55
Tabela 4.10 – Espaçamentos máximos conforme o nível de proteção.....	55

# 1. INTRODUÇÃO

A utilização das estruturas metálicas embutidas nas colunas e vigamentos das edificações sempre foi um tema polêmico, dividindo a opinião entre as engenharias civil e elétrica. A utilização das estruturas metálicas propicia meios alternativos para dispersão das descargas atmosféricas, diminuindo o tempo de neutralização dos potenciais elétricos e minimizando seus efeitos danosos, como:

- Incêndios em florestas, campos e prédios;
- Destruição de estruturas e árvores;
- Colapso na rede de energia elétrica;
- Interferência na rádio transmissão;
- Acidentes na aviação;
- Acidentes nas embarcações marítimas;
- Acidentes nas torres de poços de petróleo;
- Acidentes nas plataformas marítimas de petróleo;
- Mortes em seres humanos e animais.

Mesmo com todos os esforços, não se consegue evitar que um raio caia sobre um determinado prédio. Dessa forma, empenha-se para “disciplinar” a sua queda, obrigando-o a seguir o caminho pré-determinado para a terra, através da utilização do pára-raios e de seus componentes.

As orientações técnicas para proteger as edificações contra as descargas atmosféricas encontram-se nas normas editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB), nos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/NOS) e nas Comissões de Estudo Especiais

Temporários (ABNT/CEET), órgãos responsáveis pelas normas técnicas NBR 5410/2004 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) e NBR 5419/2005 (Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas).

Esse trabalho visa trazer informações, com base em legislação e pesquisa de campo, sobre as práticas de implantação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e sistema de aterramento. Ressalte-se que a pesquisa de campo foi realizada em função dos baixos índices de utilização das estruturas metálicas das edificações como proteção aos choques elétricos no Distrito Federal, contrariando as normas técnicas e expondo a população e as edificações a riscos desnecessários.

Visando a segurança da população e das edificações, bem como o atendimento às normas, foram realizadas inspeções em SPDA e em sistemas de aterramento de diversas edificações no Distrito Federal, verificando sempre as condições dos sistemas avaliados, sua funcionalidade e sua concepção segundo as normas NBR 5410/2004 e NBR 5419/2005, que determinam a utilização preferencial das estruturas metálicas das edificações como SPDA e aterramento.

Adicionalmente à pesquisa de campo, coletou-se a opinião dos construtores e engenheiros civis sobre essa tecnologia, pouco utilizada em virtude da desconfiança quanto à utilização da própria estrutura metálica como SPDA e aterramento. Para edificações em fase inicial de projeto, é possível a adequação das estruturas metálicas ao que é proposto pelas normas. Deve-se destacar que a aceitação integral das normas é de suma importância na construção de edificações mais eficazes na proteção contra choques e descargas elétricas, aliando o custo-benefício, a funcionalidade, a estética e o atendimento à legislação em vigor.

## **1.1 - Metodologia**

A pesquisa foi desenvolvida em 9 (nove) capítulos e anexos, assim distribuídos:

No capítulo 1, foi apresentada uma breve introdução sobre a importância do uso das estruturas metálicas como proteção contra descargas atmosféricas e a metodologia utilizada

no projeto. No capítulo 2, discorreu-se sobre o histórico das descargas atmosféricas, suas origens, densidade, tipos, formatos e valores dos raios. No capítulo 3, foram trabalhados os efeitos dos raios nas estruturas, os quatro níveis de proteção contra descargas atmosféricas, suas eficiências e classificações, tratando ainda da área de captação em uma estrutura e do índice de risco. No capítulo 4, foram apresentados os métodos de proteção de Franklin, Faraday e o método eletrogeométrico e suas particularidades. Foram tratados também os componentes de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), suas peculiaridades, materiais, dimensionamento e exigências.

No capítulo 5, foram trabalhados os conceitos das estruturas metálicas das edificações como SPDA e aterramento. Nesse capítulo, foram abordados os requisitos para a execução desses sistemas, tratando-se adicionalmente o conceito da Re-Bar e o ensaio de continuidade das armaduras. No capítulo 6, foram apresentados os detalhamentos executivos das estruturas metálicas como SPDA e aterramento. Nesse item, são trabalhados os esquemáticos empregados em tais sistemas, tipos de conexões, equipotencialização e aterramento das massas metálicas.

No capítulo 7, são apresentadas as restrições da utilização das estruturas metálicas e suas possíveis implicações nas estruturas de concreto. Nesse tópico, são apresentados os riscos associados à má utilização das estruturas metálicas como SPDA e aterramento. No capítulo 8, são discutidas as interferências na construção civil e a aceitação da utilização das estruturas metálicas atuando como SPDA e aterramento, sendo apresentadas às opiniões dos construtores e engenheiros civis coletadas em campo. O capítulo 9 traz as conclusões acerca da pesquisa de campo, analisando comparativamente as exigências das normas e a prática verificada. Neste tópico, serão abordados diversos fatores que reafirmam a validade da teoria abordada e a necessidade de verificar o cumprimento das normas nas edificações em fase de construção. Finalmente, nos anexos são apresentadas diversas fotografias que tratam dos sistemas de SPDA e aterramento tradicionais, bem como as fotografias obtidas em diferentes edificações no Distrito Federal, exemplificando os procedimentos a serem adotados na construção de SPDA e aterramentos utilizando às estruturas metálicas das edificações.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 - Histórico sobre descargas atmosféricas

O raio sempre existiu, fazendo parte da própria evolução e formação da Terra. No início, há milhões de anos, no processo de resfriamento do planeta, tempestades violentas existiam em abundância. Com o resfriamento da Terra, as tempestades se estabilizaram, mantendo-se num equilíbrio natural. Hoje, devido principalmente à ação humana, alterações rápidas neste equilíbrio estão sendo observadas, podendo produzir modificações no conteúdo da bagagem histórica até então registrada, alterando os parâmetros empíricos usados nos estudos estatísticos dos raios.

Como a ação do raio é acompanhada pela luminosidade e trovoadas, sua presença sempre foi respeitada e observada, tendo-se encontrado registros em 2000a.C., na Mesopotâmia. Na antiguidade, o raio estava sempre associado a deuses e divindades, sendo fartamente apresentado na literatura grega de 700a.C., onde os registros mitológicos mostram Zeus (figura 2.1) como sendo o deus do raio. Os gregos acreditavam que os ciclopes, ao todo três gigantes de um olho só (chamados Arges, Brontes e Estéropes), forjavam raios para Zeus lançá-los sobre os mortais. Na mitologia chinesa, a deusa Tien Um cuidava das trovoadas e Lien Tsu era o deus do trovão. A mitologia nórdica, por exemplo, dizia que Thor era o deus dos relâmpagos. Em seus momentos de ira, o deus Thor usava um martelo mágico, chamado Mijollnir, para golpear todos os corpos celestes, o que resultava num grande barulho, o barulho de Thor (ou Thor Don na língua nativa da Islândia). Essa era a origem do trovão para aquele povo, sempre precedendo as tempestades. Com o decorrer dos anos os registros de raios passaram a ser rotinas, sendo citados em diversos documentos, inclusive na Bíblia. E foram muitos outros deuses "inventados" e cultuados para explicar as descargas atmosféricas. Apesar do

desenvolvimento da ciência nessa área e esclarecidas as causas dos relâmpagos, a figura do mito ainda deverá sobreviver por um longo tempo. [19]

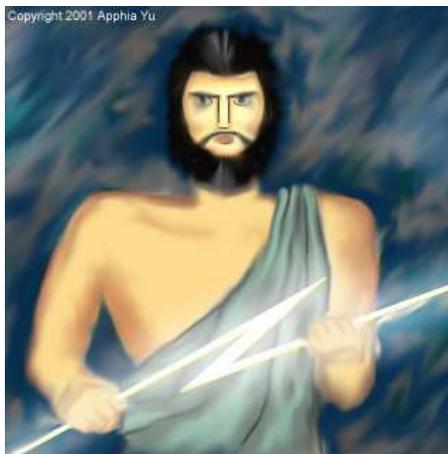


Figura 2.1 – Desenho de Zeus [19]

Antigamente, os efeitos destrutivos do raio eram associados às pedras incandescentes que violentamente caíam do céu na ponta de um raio. Só no século XVIII começaram os pesquisadores a associar o raio aos fenômenos da descarga elétrica das cargas acumuladas nas nuvens. Deste modo, o arco elétrico associado à descarga explicou a luminosidade do raio, sendo o ruído (trovoada) produzido pelo rápido aquecimento e expansão súbita do ar.

No início do século XVIII, quando o estudo da Eletricidade se intensificou, muitos cientistas, movidos pela curiosidade e pelo desejo de explicar os fatos mediante uma experiência, se dispuseram a investigar os fenômenos elétricos. Aparentemente em 1708, o cientista William Wall foi o primeiro a observar que a faísca que saía de um pedaço de âmbar eletrizado assemelhava-se à descarga de um relâmpago. Após isso, outras importantes descobertas sobre eletrização dos corpos sugeriram que relâmpagos deveriam ser manifestações elétricas na atmosfera.

O americano Benjamin Franklin (1706-1790) projetou uma experiência para provar essa suspeita. Em junho de 1752, ele realizou o famoso experimento empinando uma pipa com um objeto metálico preso no extremo de uma linha condutora, nas proximidades de nuvens de tempestade. A outra ponta da linha ligava-se a uma garrafa de Leyden, dispositivo que armazenava eletricidade. Ele queria provar que era possível descarregar a

eletricidade das nuvens por meio de um condutor pontudo, lenta e imperceptivelmente. Franklin registrou que sentiu pequenas descargas elétricas intermitentes pelo seu corpo, provando assim que nuvens carregadas produzem os relâmpagos.

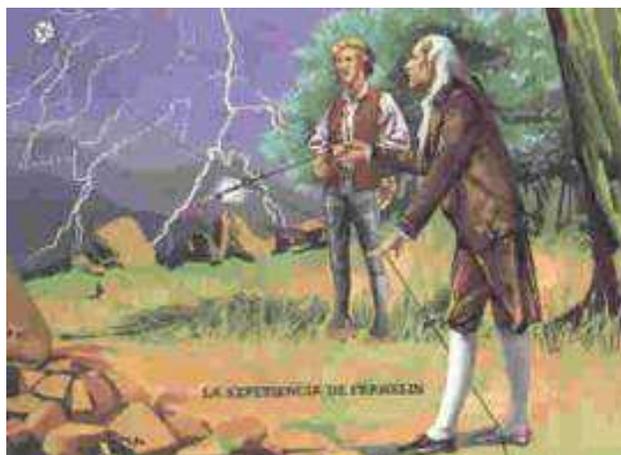


Figura 2.2 – Experiência de Franklin [19]

Em maio de 1752, o cientista francês Thomas-François D’Alibard (1703-1799) realizou o experimento proposto por Franklin. D’Alibard levantou uma barra de ferro pontiaguda na direção de nuvens de tempestade e aproximou desta um fio aterrado, verificando que faíscas saltavam do mastro para o fio, o que além de provar a hipótese de Franklin, estabeleceu os princípios do funcionamento dos pára-raios.

Naquela época, muitos pesquisadores utilizavam tal método para armazenar eletricidade necessária às suas pesquisas, porém como os dispositivos eram verdadeiros "chama-raios", por não estarem ligados a Terra, acabaram por ocasionar muitos acidentes, alguns deles fatais. O pesquisador russo G.W. Richman após repetir a experiência de Franklin, morreu fulminado pelo raio que caiu em sua pipa. Após este fato, vários pesquisadores amarravam balões e pipas a animais, como cavalos e ovelhas, para estudar o efeito e a reação muscular devido ao raio.

Esses dispositivos deram origem aos pára-raios, que se tornaram peça fundamental na proteção contra os relâmpagos, sendo aperfeiçoados anos mais tarde. Hoje se sabe que os relâmpagos estão relacionados à eletricidade na atmosfera. Eles iniciam com os raios, que nada mais são do que cargas elétricas em movimento ordenado, ou seja, uma corrente elétrica na atmosfera produzindo dois efeitos: a iluminação de uma região específica do

espaço onde elas se movimentam (que é o relâmpago propriamente dito) e o brusco aquecimento do ar nessa região, causando uma onda sonora denominada trovão. É muito comum aplicarem-se os termos raios e relâmpagos como sendo sinônimos, apesar de eles serem diferentes, e o segundo ser consequência do primeiro.

Acredita-se que os raios têm um largo efeito sobre nosso meio ambiente e provavelmente estavam presentes durante o surgimento da vida na terra. Os raios podem ter colaborado na geração das moléculas que deram origem a vida. Pesquisas indicam que o aminoácido, substância que formou a crosta terrestre, tem origem nas descargas elétricas dos gases existentes na atmosfera. Independentemente da ação do homem, os raios provocam incêndios, constituindo-se em agentes naturais para a manutenção do equilíbrio da quantidade de árvores e plantas. São também responsáveis por mudanças nas características da atmosfera ao redor das regiões onde ocorrem, quebrando moléculas de componentes do ar e produzindo novos elementos. Portanto, modificam a concentração de importantes elementos, como o gás ozônio, que se misturam com a chuva e precipitam como fertilizante natural. Apesar de tudo que é conhecido, os estudos sobre eletricidade atmosférica estão longe de se esgotarem, existindo ainda fenômenos de causas desconhecidas relacionados aos raios. [5]

Hoje, para estudar o raio, usam-se processos mais sofisticados, como o de criar entre o laboratório e a nuvem um caminho de ar ionizado produzido pelo lançamento de foguetes. Através do caminho de ar ionizado, a probabilidade de o raio escoar para a terra é maior e, desta maneira, pode-se examinar melhor o raio através de máquinas fotográficas rotativas especiais de alta velocidade, capazes de congelar várias tomadas sucessivas do raio, além de oscilógrafos especiais responsáveis pelo acompanhamento do desempenho do raio.

## **2.2 - Origem e Formação das Descargas Atmosféricas**

### **2.2.1 - As causas da eletrização das nuvens**

Um raio dura em média meio segundo e, nesse intervalo de tempo, muitos fenômenos se combinam, principalmente físicos e climáticos, para resultar no que se vê e ouve. Conforme esses fenômenos variam, as descargas podem ser mais ou menos intensas e algumas regiões do planeta apresentam a tendência a produzir mais descargas elétricas atmosféricas. [5]

De acordo com a teoria mais aceita, as nuvens se eletrizam a partir das colisões de partículas de gelo acumuladas em seu interior. Outra origem, que não exclui a primeira, estaria em efeitos resultantes da diferença de condutividade elétrica do gelo, devido a diferenças de temperatura no interior da nuvem. Durante as colisões, as partículas de gelo perdem elétrons e transformam-se em íons, o que torna a nuvem eletricamente carregada. As partículas têm tamanho variado e, segundo medidas feitas por sondas meteorológicas, as menores e mais leves ficam com carga positiva e as maiores e mais pesadas (partículas de gelo denominadas granizo) com carga negativa. [9]

Alguns fatores como os ventos, a temperatura e força da gravidade fazem com que cargas de mesmo sinal se concentrem em regiões específicas da nuvem. Geralmente a parte inferior, a base da nuvem, e a parte superior ou topo da nuvem são os locais de maior acúmulo de carga, de sinais contrários, funcionando assim como as placas de um capacitor. Alguns raios ocorrem associados a tempestades de poeira ou a nuvens formadas por vulcões ativos e, neste caso, acredita-se que os processos de eletrização sejam semelhantes aos descritos acima para nuvens de água. [9]

### **2.2.2 - A indução de cargas e a quebra da rigidez dielétrica**

As cargas distribuídas na base e no topo das nuvens produzem um campo elétrico interno, denominado campo elétrico intra-nuvem. Com o acúmulo de cargas em sua superfície externa, a nuvem pode provocar uma indução eletrostática na superfície de outras

nuvens ou no solo imediatamente abaixo. Neste caso cria-se um campo elétrico entre nuvens ou entre a nuvem e o solo, conforme descrito na figura 2.3 a seguir:

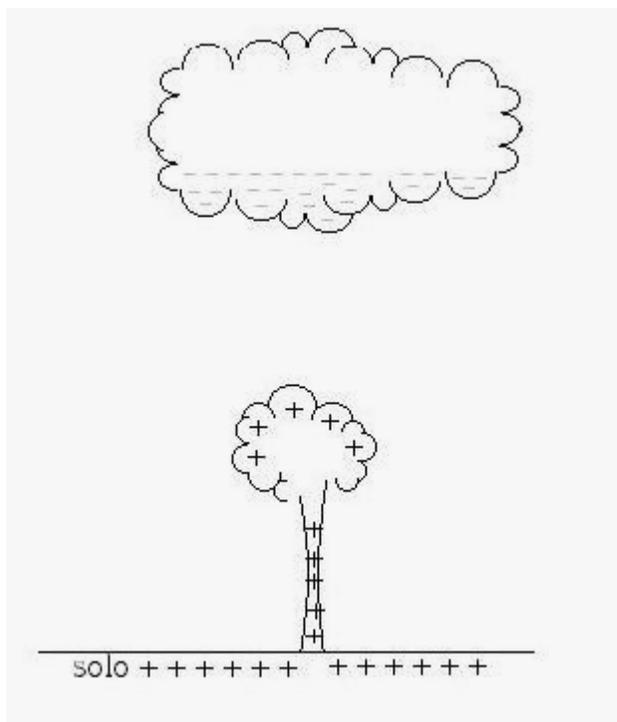


Figura 2.3 – Campo Elétrico Nuvem – Solo [5]

Enquanto os choques das partículas dentro da nuvem se intensificam, a quantidade de carga em sua superfície aumenta e, conseqüentemente, o campo elétrico criado por essas cargas também se eleva. Com o aumento da intensidade desse campo, as moléculas de ar entre as partes eletrizadas sofrem polarização e se orientam de acordo com o campo elétrico. O efeito de polarização se intensifica com o aumento da intensidade do campo, até o ponto em que elétrons são arrancados das moléculas do ar. Este, dessa forma ionizado, se transforma em um condutor gasoso. [9]

Genericamente, o valor de campo elétrico que provoca ionização em um meio é denominado rigidez dielétrica desse meio. No ar, a rigidez dielétrica varia com as condições da atmosfera. Quando o campo elétrico ultrapassa esse valor limite, diz-se que houve uma quebra da rigidez dielétrica do meio, transformando o isolante em condutor. Como conseqüência, os íons negativos e os elétrons livres do ar são fortemente atraídos pelas cargas positivas presentes nas nuvens ou induzidas no solo, formando um caminho

chamado de canal condutor, conforme representação na figura 2.4. Assim sendo, o movimento de cargas negativas no canal condutor pode ocorrer tanto intra-nuvem como entre nuvens ou entre nuvem e solo. Cerca de 90% dos casos as descargas elétricas se originam na base da nuvem, quase sempre eletrizada negativamente. Portanto, em geral, é uma carga negativa que inicia o processo de descarga elétrica atmosférica.

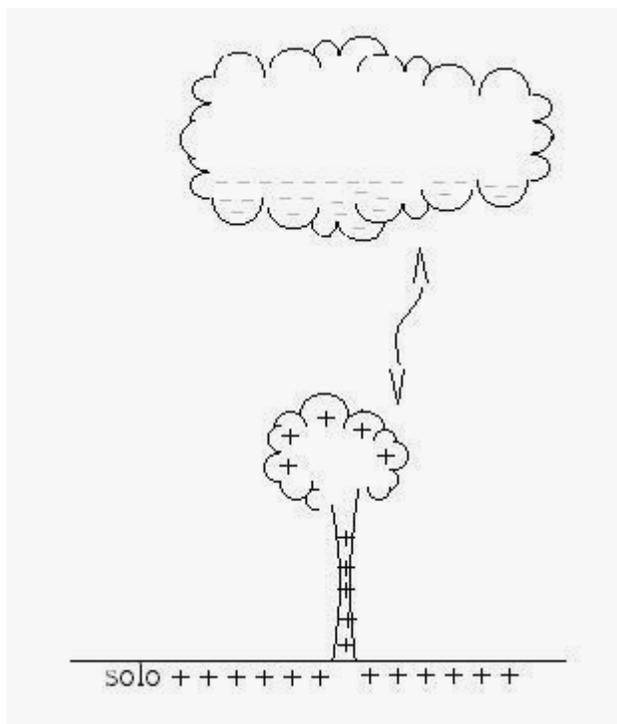


Figura 2.4 – Canal Induzido [5]

### 2.2.3 - O movimento da Carga Líder

A primeira carga a se movimentar, na maioria das vezes vinda da base de uma nuvem, é a Carga Líder ou Líder Escalonado, sendo chamada assim porque desce em etapas ou escalas, em intervalos de tempo praticamente uniformes. Algumas cargas seguem novos caminhos fora do canal principal, criando ramificações em muitos pontos, isso porque há íons na atmosfera, distribuídos de maneira não uniforme, o que acaba por atrair ou repelir essas cargas para um lugar indeterminado. As bruscas variações de velocidade da carga líder produzem uma onda eletromagnética de frequência superior à da luz visível, portanto

não perceptível pelo olho humano, sendo seguido por outras cargas provenientes da base da nuvem criando-se uma corrente elétrica denominada raio.

#### **2.2.4 - Líderes Conectantes e Descarga de Retorno**

A Carga Líder, em geral negativa, aproxima-se de cargas positivas localizadas no solo ou nas nuvens. A carga acumulada no canal condutor produz um aumento na intensidade do campo elétrico entre as cargas, gerando uma nova quebra da rigidez dielétrica do ar. Por efeito dessa quebra, devido ao alto nível de intensidade desse campo, íons positivos são arrancados do solo (ou da nuvem para onde as cargas negativas se dirigem). A intensificação do campo elétrico provoca o surgimento de vários caminhos (canais) por onde esses íons se deslocam ao encontro da Líder. Os íons positivos são denominados Líderes Conectantes ou Descargas Conectantes.

No caso de descargas nuvem - solo, esse segundo rompimento da rigidez dielétrica ocorre quando a Líder está cerca de 10 m de distância do local de onde os íons positivos são arrancados. Essas cargas se encontram aproximadamente a meia distância do percurso, completando assim o canal do relâmpago. Todas as cargas negativas que seguem a Carga Líder movem-se através dos novos canais por onde passaram os íons positivos até alcançar os pontos de onde eles partiram. A descarga que saiu do solo continua seu movimento até a nuvem e passa a ser denominada Descarga de Retorno. Essa descarga ocorre com uma velocidade de cerca de um terço da velocidade da luz.



Figura 2.5 – Descarga Atmosférica, Fonte: <http://www.raios.com.br>

### 2.2.5 - O relâmpago

As principais conseqüências das descargas elétricas atmosféricas (raios) são a luz (relâmpago) e o som (trovão). Os relâmpagos são produzidos basicamente pela radiação eletromagnética emitida por elétrons que, após serem excitados pela energia elétrica, retornam aos estados fundamentais. Isto ocorre principalmente na descarga de retorno e por esta razão, no caso da descarga nuvem - solo, a geração da luz é feita de baixo para cima. A luz do relâmpago é bastante intensa devido à grande quantidade de moléculas excitadas. Pode-se observar que as ramificações do canal são menos brilhantes pela menor quantidade de cargas presentes nessa região. A geração de luz dura cerca de um décimo de segundo, atingindo aproximadamente 100 (cem) flashes por segundo.

Portanto, os fótons produzidos no início da trajetória, apesar de chegarem primeiro na retina do observador, conseguem mantê-la sensibilizada até a chegada dos fótons provenientes do final da trajetória. Por isso, é comum se pensar que o canal se iluminou todo de uma vez ou ainda que o relâmpago caiu, vindo de cima para baixo, talvez por colocarmos a nuvem como nossa referência. Geralmente a luz do relâmpago é de cor branca, mas pode variar, dependendo das propriedades atmosféricas entre o relâmpago e o observador.

### 2.2.6 - Relâmpagos múltiplos

Quando há apenas uma descarga de retorno, o relâmpago é classificado como relâmpago simples. Os relâmpagos múltiplos acontecem quando a nuvem não se descarrega completamente durante o primeiro raio. Neste caso, a cargas remanescentes se acumulam novamente na base da nuvem e o fenômeno se reproduz através dos mesmos passos descritos anteriormente. A Carga Líder poderá ser um Líder Contínuo (um líder que não desce em etapas e aproveita o canal que já existe), um Líder Escalonado (um novo líder formado quando todo o canal se desfaz) ou um Líder Contínuo - escalonado (se parte do canal se desfizer). A descarga de retorno será denominada Descarga de Retorno subsequente unicamente no caso do Líder Contínuo.

A maioria dos relâmpagos é do tipo múltiplo e o número médio de descargas de retorno subsequentes geralmente é de 3 a 5. O maior valor até hoje registrado foi de 42 descargas. É um erro comum pensar que o raio nunca cai duas vezes no mesmo lugar. Sendo várias as descargas positivas ou conectantes que saem do solo, se uma delas sair de um mesmo ponto (onde a primeira conectante saiu) indo ao encontro da nova Líder, será possível que isso ocorra. [5]

Assim como o Líder Escalonado, o Líder Contínuo é invisível. Por outro lado, na maioria dos casos, o Líder Contínuo não possui ramificações e sua descarga de retorno subsequente é menos brilhante que a primeira descarga e pouco ramificada. O Líder Contínuo - escalonado ocorre quando, durante a descida de um Líder Contínuo, o canal se desfaz e ele tem que mudar para Líder Escalonado para poder completar o caminho. A Descarga de Retorno subsequente pode sair de um outro ponto do solo e seguir também um novo caminho, bifurcando o canal, conforme figura 2.6. Quase 1/4 dos relâmpagos apresenta este efeito.



Figura 2.6 – Descarga de Retorno, Fonte: <http://www.raios.com.br>

### **2.2.7 - Raios nuvem - solo positivos**

Os raios entre a nuvem e o solo também podem iniciar por líderes positivos descendentes, correspondendo a movimentos de subida de cargas negativas (elétrons). A descarga de retorno resultante transporta cargas positivas da nuvem para o solo. Estes são os raios nuvem-solo positivos e, no geral, eles não se seguem de descargas de retorno subsequentes, sendo classificados como relâmpagos simples. Eles causam maiores danos do que os negativos. Muitos acidentes como incêndios em florestas e estragos em linhas de energia são causados por este tipo de raio.

### **2.2.8 - Maior incidência de Raios**

O raio, de um modo geral, incidirá sempre nos pontos mais elevados em relação aos demais pontos, tais como: topo de morros, montanhas, sobre árvores isoladas, na ponta de pára-raios, em casas, entre outros. Já dentro de um carro, por exemplo, as pessoas estão totalmente protegidas, pois além de existir isolação em relação ao solo, não há condições de acúmulo exagerado de cargas elétricas na parte metálica. Um fato interessante que se

observa na natureza é que o raio prefere maus condutores como os calcáreos. Isto se dá porque o terreno mal condutor e a nuvem formam um grande capacitor.

A enorme diferença de potencial entre a nuvem e o solo provoca a ionização do ar e o aparecimento de um cheiro adocicado indicando a presença de ozônio. A ionização do ar diminui a distância de isolamento entre a nuvem e o solo, havendo maior probabilidade de o raio furar esta camada de ar, fazendo com que o raio caia neste terreno isolante (mal condutor). Como o terreno é isolante, não há condições de escoamento do raio e este ao cair se espalha, procurando os caminhos de mais baixa resistência. Nos Estados Unidos, França, Alemanha, baseados na localização dos terrenos maus condutores e elevados, foram demarcados nos mapas os locais onde a probabilidade de incidência de raios é maior. Em regiões onde há muita precipitação com tempestades, a incidência de raios também é maior.

### **2.3 - Índice Cerâmico**

Índice Cerâmico (IC) é um parâmetro que indica o número de dias de trovoadas por ano em uma determinada localidade. Este dado é mais realista quando se tem registro de muitos anos. O observador deverá registrar as trovoadas dentro de sua localidade. A distância estimada da ação do observador é de um círculo com raio de 20 quilômetros. Registrando todos os índices cerâmicos em um mapa, e ligando os pontos de igual intensidade, obtêm-se as linhas de mesmo índice, isto é, índices isocerâmicos. O mapa isocerâmico do Brasil está apresentado na figura 2.7.



Figura 2.7 – Mapa Isocerânico do Brasil, Fonte: <http://www.inpe.gov.br>

Na Tabela 2.1 são apresentados os índices cerânicos aproximados das capitais brasileiras:

Tabela 2.1 – Índices Cerâmicos das capitais brasileiras, <http://www.inpe.gov.br>

Cidade	Índice Cerâmico
Aracaju	5,0
Belém	112,0
Belo Horizonte	41,0
Brasília	62,0
Campo Grande	89,0
Cuiabá	92,0
Curitiba	53,0
Florianópolis	54,0
Fortaleza	18,0
Goiânia	39,0
João Pessoa	12,0
Macapá	118,0
Maceió	5,0
Manaus	100,0
Natal	10,0
Palmas	118,0
Porto Alegre	21,0
Porto Velho	58,0
Recife	5,0
Rio Branco	62,0
Rio de Janeiro	24,0
Roraima	38,0
Salvador	8,0
São Luis	35,0
São Paulo	42,0
Teresina	70,0
Vitória	38,0

## 2.4 - Medidores e Contadores de Descargas

A descarga atmosférica, sendo um fenômeno rápido e de incidência aleatória, sempre causou indignidade e frustrações nas suas medições. Mesmo assim, vários pesquisadores desenvolveram, ao longo dos anos, diversos aparelhos, cada qual com suas particularidades, para tentar detectar e medir algumas características do raio. Alguns destes aparelhos estão relacionados a seguir:

- Caleidográfico: É um dispositivo que aproveita os fortes campos eletrostáticos do raio para, por indução num centelhador, registrar formas (espectros) numa película de material fotográfico;
- Amperômetro Magnético: É um aparelho que utiliza o forte campo magnético do raio para magnetizar uma pequena placa de material magnético. O valor da magnetização corresponde ao valor da corrente de crista do raio;
- Oscilógrafo de Raios Catódicos: É um osciloscópio conectado convenientemente a um circuito sensível a variação do campo eletromagnético do raio. Com este aparelho pode-se analisar o desempenho do raio;
- Registrador Fotográfico: É uma máquina fotográfica rotativa desenvolvida para captar no filme o desenvolvimento da descarga do raio;
- Ceraunômetro: É um aparelho contador de descargas. Seu princípio de funcionamento é ser sensível à intensidade e variação do campo magnético da descarga do raio, inclusive do seu ângulo de incidência.

Há, também, vários aparelhos eletrônicos desenvolvidos com antenas de captação de ondas eletromagnéticas provenientes do raio. Estes aparelhos, colocados e espalhados estrategicamente numa região, podem medir e localizar por triangulação a posição exata da queda do raio, medindo inclusive o ângulo de inclinação do raio, sua forma, tempo de descarga, grau de luminescência e pressão proporcionada pela trovoadas. Seu grau de ação de acordo com a sensibilidade do aparelho pode atingir até 200 km.

## 2.5 - Densidade de Raios

Densidade de raios é a quantidade de raios que caem em uma determinada região durante um período estipulado. Um índice muito utilizado é o DR, isto é, Densidade de Raio por km<sup>2</sup> durante um ano. Este índice pode ser obtido por observação ou medição através de contadores de descarga atmosférica. Por exemplo, colocam-se contadores numa determinada região para proceder, em intervalos de tempo, a medida da quantidade de raios incidentes no solo, bem como sua intensidade.

Estudos prolongados desenvolvidos por técnicos ingleses, como base em dados estatísticos obtidos nas Ilhas Britânicas, Europa e Austrália, mostraram haver relação entre o índice cerâmico e a densidade de raios por km<sup>2</sup> no mesmo período. Esta relação é dada pela expressão 2.1.

$$DR = 0,0024 * IC^{1,63} \quad (2.1)$$

Onde IC é o índice cerâmico

## 2.6 - Tipos de Raios

Há raios simples e múltiplos. Uma classificação menos científica é dividir o raio em explosivos e incendiários. Os raios explosivos são de curta duração com alto valor de corrente elétrica. É o raio de ação fulminante, capaz de rachar uma árvore. Já o raio incendiário é de longa duração com correntes elétricas menores. Este raio, ao “cair” em postes de madeira ou árvores, provoca a combustão. [12]

O raio pode agir indiretamente através dos campos elétricos e magnéticos por ele gerados. A corrente elétrica do raio é alternada e, nos trechos nos quais é aparentemente contínua, ela é na realidade contínua - pulsante, ou seja, a corrente varia muito rapidamente no tempo. Isto produz, momentaneamente, um forte campo magnético variável que abrange uma grande área. Este campo magnético atrai, derruba ou arrasta qualquer objeto de propriedades magnéticas. Este efeito, muitas vezes passa despercebido. A rápida variação

do campo magnético é também responsável pela indução de tensão nas redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica. Este pulso de tensão induzido causa enormes problemas a rede de energia elétrica, produzindo danos nos equipamentos e isoladores. [12]

## 2.7 - Forma do Raio

Uma grande preocupação é saber a forma do impulso da corrente de descarga do raio, que escoa entre a nuvem e terra ou entre nuvens. Após exaustiva análise de sucessão de fotografias e registros dos oscilógrafos, obteve-se a forma da onda do impulso de descarga, bem como a sua duração. A duração é de aproximadamente 200  $\mu\text{s}$ , sendo sua subida, isto é, sua frente de onda, muito rápida, na ordem de 1,2  $\mu\text{s}$  e o tempo de meia cauda, de 50  $\mu\text{s}$ , conforme figura 2.8.

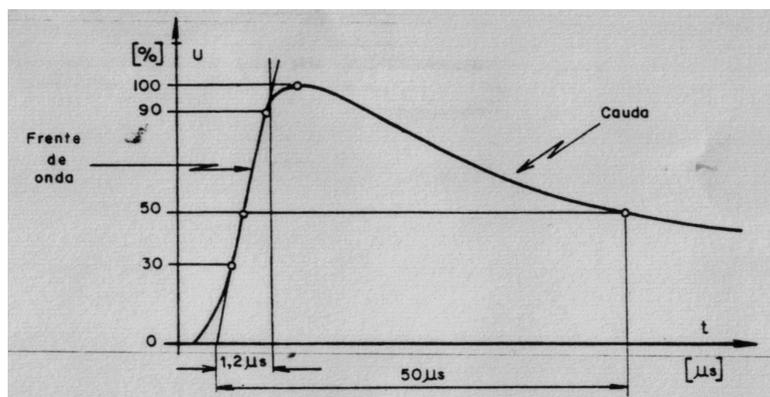


Figura 2.8 – Formato do raio, Fonte: Kindermann, (1997)

Pela figura acima, pode-se definir alguns termos importantes da descarga do raio:

- Frente de onda: Corresponde ao período da subida da corrente ou tensão do raio. Esta duração é ínfima, no valor estimado de 1,2  $\mu\text{s}$ . A frente da onda corresponde à ação fulminante do raio;

- Valor de crista: É o valor máximo alcançado pela corrente ou tensão do raio;
- Cauda do raio – corresponde à forma do raio, desde o valor de crista até o final do raio. Este período é longo e suave, correspondendo a 200  $\mu$ s.
- Período ou Tempo de Meia Cauda – É o tempo em que a cauda atinge o valor de meia crista. Este valor corresponde a 50  $\mu$ s.

Em termos de efeito e danos, basta considerar o raio até o seu período de meia cauda, isto porque, se o equipamento a ser protegido sobreviver ao raio até a meia cauda, o restante do período da cauda final será mais suave e de menor intensidade.

Observe-se que os seres humanos não estão acostumados a perceber fisicamente a dimensão do tempo do raio. Esta duração, que é da ordem de 200  $\mu$ s, é ínfima, praticamente imperceptível em relação à noção de nossa dimensão de tempo. Considerando que uma piscada de olho humano dure 100 ms, o tempo de uma piscada corresponde a 500 raios-padrão.

## 2.8 - Valores dos Raios

A gama de variação dos valores dos raios é uma questão preocupante, exigindo maiores estudos, principalmente no tocante aos raios mais típicos. Valores medidos e registrados estão indicados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Valores do Raio, Fonte: Kindermann, (1997)

Registros Coletados	Valores
Corrente	2000 a 200.000 Amperes
Tensão	100 a 1.000.000 kV
Duração	70 a 200 $\mu$ s
Carga elétrica da nuvem	20 a 50 C
Potência liberada	1000 a 8.000 milhões de kW
Energia	4 10 kWh
Tempo de crista	1,2 $\mu$ s
Tempo de meia cauda	50 $\mu$ s

Note-se que a energia liberada é relativamente pequena e a potência é gigantesca, mas de pouca duração. Estudos estatísticos internacionais mostram que a energia total liberada pelos raios na terra corresponde à insignificante taxa de 20 W/km<sup>2</sup>. Isto corresponde a um milionésimo da energia por km<sup>2</sup> recebida pela terra por radiação solar.

## 2.9 - Magnitude de Corrente do Raio

Medições efetuadas por investigadores internacionais mostram, através da Tabela 2.3, a distribuição aproximada para a magnitude da corrente de descarga direta dos raios na terra.

Tabela 2.3: Descargas Diretas do Raio, Fonte: Kindermann, (1997)

DESCARGAS DIRETAS DE RAIOS
0,1% excedem 200.000 Amperes
0,7% excedem 100.000 Amperes
6,0% excedem 60.000 Amperes
50,0% excedem 15.000 Amperes

A grande maioria de raios diretos na terra tem magnitude de até 15kA. Raios de altíssima intensidade podem ocorrer quando uma nuvem extremamente carregada se aproxima do solo, empurrada e abaixada pela ação de correntes de ar descendentes. Este fenômeno, apesar de raro, pode ocorrer em dias normais, isto é, sem chuva. Neste caso, a nuvem (muito baixa) quebra a rigidez dielétrica do ar, e o raio é de grande intensidade, conhecido como raio seco, conforme figura 2.9.

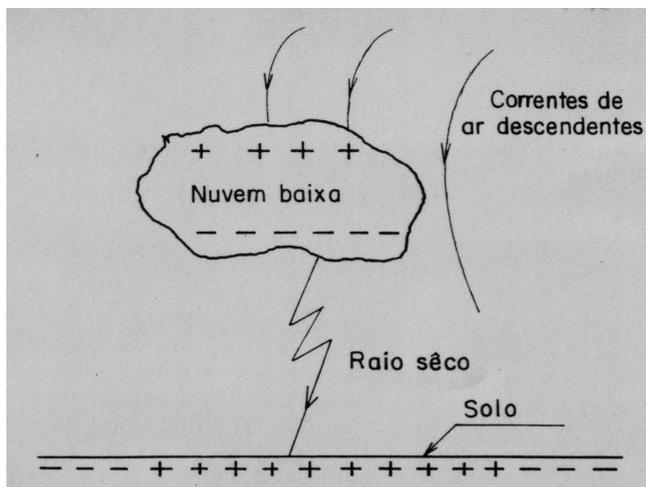


Figura 2.9 – Raio Seco, Fonte: Kindermann, (1997)

Outra possibilidade, de maior ocorrência, acontece quando a nuvem se aproxima de uma elevação, morro ou montanha. Devido a sua inércia, o deslocamento horizontal faz com que a nuvem se aproxime muito da encosta da elevação, diminuindo a distância efetiva e possibilitando o raio, chamado raio na encosta, conforme figura 2.10.

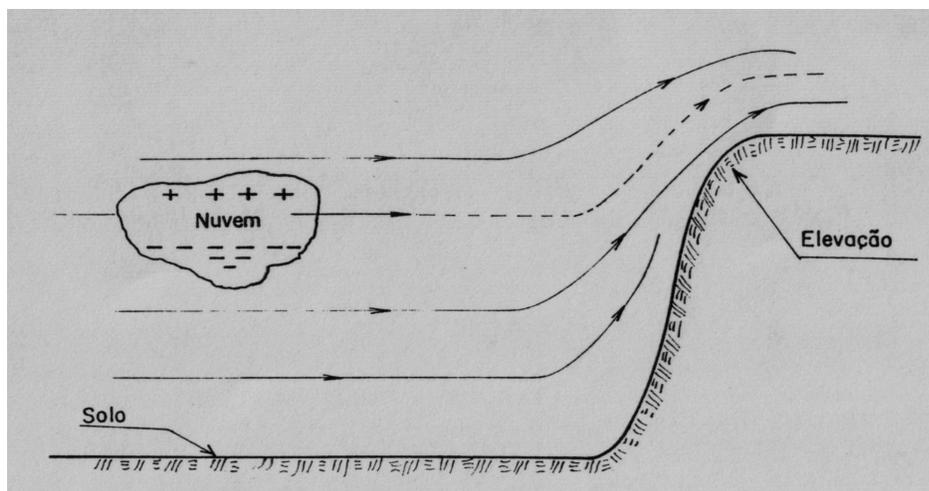


Figura 2.10 – Raio na Encosta, Fonte: Kindermann, (1997)

# 3. EFEITOS DO RAIOS EM ESTRUTURAS

A decisão de proteger uma estrutura contra os raios pode ser uma exigência legal, uma precaução do proprietário para evitar prejuízos ou ainda uma exigência das companhias de seguro, já que os raios são causas de danos físicos e incêndios. As normas devem fornecer subsídios para os legisladores, proprietários e agentes de seguros decidirem quando há necessidade de proteção. Neste item, procura-se abordar o assunto relativo aos danos das descargas atmosféricas em diversas estruturas típicas. De um modo geral, é ainda grande o desconhecimento e o grau de incerteza do efeito, da ação e da proteção contra a descarga atmosférica. Para se ter uma idéia da evolução lenta que existe sobre o assunto, é interessante ressaltar que, desde a proposta de Benjamin Franklin de utilizar uma haste para proteção contra descargas atmosféricas, pouco se desenvolveu no sentido de evitar as descargas atmosféricas, e isto se deu há 200 anos. Hoje, a utilização de pára-raios de Franklin em estruturas elevadas tem mostrado na prática que as laterais dos edifícios não estão bem protegidas e deve ser complementada com outro tipo de proteção.

## 3.1 – Níveis de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

Definem-se, para diversas estruturas, níveis de proteção a serem usados pelo engenheiro de proteção contra descargas atmosféricas. Apesar de não haver dados que orientem a escolha do nível de proteção adequado, existem quatro níveis que são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Níveis de Proteção Contra Descargas Atmosféricas, Fonte: NBR 5419, (2005)

Nível de Proteção	Caracterização da Proteção
I	Nível Máximo de Proteção
II	Nível Médio de Proteção
III	Nível Moderado de Proteção
IV	Nível Normal de Proteção

### 3.2 – Eficiência do SPDA

Existem descargas atmosféricas de diferentes tipos e intensidades. Por este motivo, um sistema de proteção não pode ser dito seguro para todos os níveis de descarga atmosférica. Raios raros, de altíssima intensidade, podem danificar o sistema de proteção ou mesmo causar danos na estrutura de uma edificação, desde danos físicos na estrutura do prédio e até danos aos equipamentos elétricos e eletrônicos localizados no interior da edificação.

Especialistas internacionais, após anos de análises, produziram uma estimativa estatística da eficiência do sistema de proteção contra descarga atmosférica, de acordo com o nível de proteção desejado. O grau de eficiência é representado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Eficiência dos Níveis de Proteção, Fonte: NBR 5419, (2005)

Nível de Proteção	Eficiência da Proteção
I	98%
II	95%
III	90%
IV	80%

Conforme tabela 3.2, deve-se considerar o fato de a probabilidade de o raio cair no sistema de proteção contra descargas atmosféricas ser variável, não havendo a garantia de proteção, mas apenas a estimativa da proteção. O sistema de proteção utilizado não está relacionado com a probabilidade de queda do raio na estrutura, mas sim com a sua eficiência de captar e conduzir o raio a terra.

### 3.3 - Classificação e os Efeitos dos Raios na Estruturas

Para efeito de análise e projeto, as diversas estruturas típicas existentes são classificadas de acordo com os efeitos e danos (riscos) que possam vir a sofrer por ação de uma descarga atmosférica. São elas:

- Estruturas Comuns: São estruturas cujas preocupações são os efeitos do raio na própria estrutura.
- Estruturas com Danos Confinados: São estruturas onde, além do dano comum, existe a preocupação também com relação à atividade interna executada.
- Estruturas com Perigo aos Arredores: São estruturas em que além dos riscos anteriores, há riscos e prejuízos nas estruturas adjacentes, ou de uma região.
- Estruturas com Danos ao Meio Ambiente: São estruturas que além dos danos próprios, há riscos ao meio ambiente de modo temporário ou permanente.

Na tabela 3.3, apresentam-se as classificações e agrupamentos das estruturas e os efeitos causados pela descarga atmosférica.

Tabela 3.3 – Classificação das Estruturas, Fonte: NBR 5419, (2005)

CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS	ESTRUTURAS TÍPICAS	EFEITOS DOS RAIOS
Estruturas Comuns	Residências	Perfuração da isolamento de instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio
	Fazendas	Risco primário de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco secundário devido à interrupção de energia, e risco de vida a animais devido à perda de controle eletrônico, ventilação, suprimento de alimentação, etc.
	Teatros, Escolas, Lojas de Departamento, Áreas esportivas, e igrejas.	Danos às instalações elétricas e possibilidade de pânico. Falha do sistema de alarma contra incêndio, causando atraso no socorro.
	Bancos, Companhia de Seguros, Companhia, Comercial,	Conseqüências adicionais na ligação com a perda de comunicação, falha dos computadores e perda de dados.
	Hospitais, Casas de Repouso e Prisões	Efeitos adicionais a pessoas em tratamento intensivo, e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas.
	Indústrias	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fabricas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda da produção.
	Museus, Locais, Arqueológicos	Perda de tesouros insubstituíveis.
Estruturas com danos confinados	Telecomunicação, Usinas de força, Indústria com risco de incêndio	Inaceitável perda de serviços ao publico por pequeno ou longo período de tempo. Conseqüente perigo às imediações devido a incêndios, etc
Estruturas com perigo aos arredores	Refinarias, Depósitos de Combustíveis, Fábricas de inflamáveis, Fabricas de munição	Conseqüências de incêndio e explosão da instalação para os arredores.
Estruturas com danos ao meio ambiente	Instalações, Químicas, Laboratórios, Instalações nucleares, Bioquímicas	Fogo e mau funcionamento da fábrica com conseqüências perigosas ao local e ao meio ambiente como um todo.

### 3.4 - Área de Captação do Raio em uma Estrutura

Se imaginarmos uma placa colocada em um terreno plano, o número de raios que cairia sobre ela seria determinado pelo produto da sua área pela densidade de raios da região. No entanto, se a placa for levantada do chão a uma determinada altitude, ela passará a receber não só os raios correspondentes à sua área, mas também aqueles que cairiam nas proximidades e seriam desviados para ela por sua presença, de forma que, quanto maior for à altura, maior será o número de raios que serão desviados das vizinhanças para a placa. Chamamos área de atração ou área de captação de uma estrutura a sua área aumentada de uma área proporcional à altura, de modo a poder calcular o número de raios que estatisticamente devem cair por ano sobre a estrutura. Se for aumentando o fator de proporcionalidade com a intenção de levarmos em conta todos os raios que podem cair por ano sobre a estrutura, podemos a partir de um determinado valor, estar considerando também raios que não cairão sobre a estrutura e, portanto, superestimaremos a necessidade da proteção. A norma de proteção de estruturas mais antiga que introduziu o conceito de área de captação foi a Inglesa BS 6651 de 1965 e em 1985 foi realizada uma revisão no procedimento de cálculo, mantendo-se o conceito básico.

Para uma área retangular  $LW$  a área de atração será:

$$Aa = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 \quad (3.1)$$

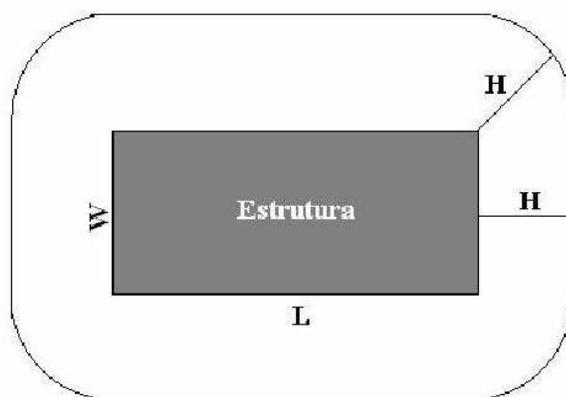


Figura 3.1 – Área de Atração

Ao calcular a área de atração, não são consideradas as vizinhanças para efeito de simplicidade. Quando, no entanto, a estrutura não é isolada, deve-se considerar a área de atração de estruturas vizinhas e outras elevações como árvores. Tendo-se calculado a área de uma estrutura, pode-se calcular o número provável de raios, utilizando-se a seguinte expressão:

$$Nd = Ng * Aa * 10^{-6} \quad (3.2)$$

Onde: Aa é a área de atração em m<sup>2</sup> e Ng é a densidade de raios/km<sup>2</sup>/ano.

### 3.5 - Índice de Risco

A probabilidade de uma estrutura ser atingida por um raio, ou seja, de quantos em quantos anos é provável que, em média, incida um raio sobre ela é facilmente calculável pela expressão anterior. A partir desse número é possível, levando em conta o material de que é construída, a finalidade ou a ocupação, os conteúdos, a existência de estruturas nas vizinhanças e o tipo do terreno, determinar o risco de haver algum dano a essa estrutura por ocasião da queda de um raio na sua área de atração.

Para estabelecer o limite a partir do qual a proteção se torna obrigatória, foram analisadas as várias causas de morte na Inglaterra, desde o hábito de fumar, passando pelos acidentes de trânsito, doenças diversas e acidentes naturais até chegar à probabilidade de morte por raio (uma morte para cada 2.000.000 por ano), tendo chegado ao valor de 10<sup>-5</sup> como valor de referência.

Foram introduzidos 5 fatores de ponderação A, B, C, D e E (correspondentes a cada situação que pode influir no risco) que são traduzidos em números através de tabelas. O produto desses fatores pela probabilidade P dará o valor de Po que deverá ser confrontado com o valor de referencia adotado e tomada à decisão de se fazer ou não a proteção.

Tabela 3.4 - fator de ponderação em função do tipo de ocupação, Fonte: NBR 5419, (2005)

Tipo de Ocupação	Fator A
Casas	0,3
Casas com antena externa	0,7
Fábricas, laboratórios	1,0
Escritórios, hotéis, apartamentos	1,2
Museus, exposições, shoppings, centers, estádios	1,3
Escolas, hospitais	1,7

Tabela 3.5 – fator de ponderação em função do material de construção e da cobertura, Fonte: NBR 5419, (2005)

Material de Construção	Fator B
Metal revestido, cobertura não metálica	0,2
Concreto, cobertura não metálica	0,4
Metal o concreto, cobertura metálica	0,8
Alvenaria	1,0
Madeira	1,4
Alvenaria ou madeira com cobertura metálica	1,7
Cobertura de Palha	2,0

Tabela 3.6 – fator de ponderação em função do conteúdo, Fonte: NBR 5419, (2005)

Conteúdo	Fator C
Comum, sem valor	0,3
Sensível a danos	0,8
Subestações, gás, rádio, TV, telefônica	1,0
Museu, monumentos, valores especiais	1,3
Escolas, hospitais	1,7

Tabela 3.7 – fator de ponderação em função da localização, Fonte: NBR 5419, (2005)

Localização	Fator D
Rodeado pro árvores ou estruturas	0,4
Semi-isolada	1,0
Isolada	2,0

Tabela 3.8 – fator de ponderação em função da topografia, Fonte: NBR 5419, (2005)

Topografia	Fator E
Planície	0,3
Colina	1,0
Montanha, 300 a 900 metros	1,3
Montanha, acima de 900 metros.	1,7

Atribuído o peso para cada um dos fatores de acordo com as tabelas acima (ou a situação que mais se aproximar), deverá ser calculado o parâmetro  $P_o$  pela seguinte expressão:

$$P_o = P * A * B * C * D * E \quad (3.3)$$

A tabela 5.9 indica a necessidade de proteção, em função de  $P_o$ :

Tabela 3.9 – Necessidade de proteção em função da probabilidade, Fonte: NBR 5419, (2005)

Probabilidade Ponderada	Proteção
$P_o < 10^{-5}$	Não necessária
$10^{-5} < P_o < 10^{-3}$	Aconselhável
$P_o > 10^{-3}$	Obrigatória

## 4. MÉTODOS DE PROTEÇÃO

Uma vez constatada a necessidade da proteção de uma dada estrutura e determinado o nível de proteção a ser analisado, temos algumas alternativas a serem analisadas e uma seqüência de cálculos a serem executados para se obter o projeto mais adequado, tanto do ponto de vista técnico, como estético e de custo. Deve-se inicialmente chamar a atenção para a necessidade de um planejamento do sistema de proteção ainda na fase de projeto da estrutura. O engenheiro eletrícista encarregado pelo sistema da proteção deve fazer parte de uma equipe de projeto juntamente com o arquiteto e o engenheiro civil, para que as soluções adotadas não venham a entrar em conflito nem encarecer desnecessariamente a obra. O custo do sistema de proteção contra descargas atmosféricas está relacionado com o momento em que é iniciado o projeto, de forma que, teremos o custo mínimo se o planejamento do sistema de proteção começar junto com o início do projeto e máximo se o prédio já estiver finalizado, dando origem, ainda, a sérias divergências entre o arquiteto, o engenheiro civil, o engenheiro eletrícista e o empreiteiro.

### 4.1 – Componentes de um sistema de proteção

Qualquer que seja o método de proteção escolhido, um sistema de proteção tem três componentes, a saber:

- Captores: Os captores têm a função de receber os raios, reduzindo ao mínimo a probabilidade da estrutura ser atingida diretamente por eles, devendo ter capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado no ponto de impacto, bem como os esforços

eletromecânicos gerados. A corrosão pelos agentes atmosféricos também deve ser levada em consideração no seu dimensionamento, de acordo com o nível de poluição e o tipo de poluente.



Figura 4.1 – Captor – Arquivo Pessoal

- Descidas: As descidas têm a função de conduzir a corrente do raio recebida pelos captosres até o aterramento, reduzindo ao mínimo a probabilidade de descargas laterais e de campos eletromagnéticos perigosos no interior da estrutura. Devem ter ainda capacidade térmica suficiente para suportar o aquecimento produzido pela passagem da corrente, resistência mecânica para suportar os esforços eletromecânicos e ter boa suportabilidade à corrosão.



Figura 4.2 – Descidas – Arquivo Pessoal

- **Aterramento:** O aterramento tem a função de dispersar no solo a corrente recebida dos condutores de descida, reduzindo ao mínimo a probabilidade de tensões de toque e de passo perigosas. Devem ter capacidade térmica suficiente para suportar o aquecimento produzido pela passagem da corrente e, principalmente, deve resistir à corrosão pelos agentes agressivos encontrados nos diferentes tipos de solos.



Figura 4.3 – Aterramento – Arquivo Pessoal

Esses componentes podem ainda ser divididos em:

- Naturais: São aqueles existentes na estrutura e que podem (e devem) ser usados no sistema de proteção. Essa utilização, para ser mais eficiente e também mais econômica, deve ser prevista na fase de projeto, caso contrário, os cuidados deverão ser muito maiores. Se os componentes não forem visíveis, é muito provável que seja melhor não utilizá-los caso não haja previsão no projeto;
- Especiais: São aqueles colocados na estrutura com a finalidade explícita de receber, conduzir ou dispersar no solo as correntes dos raios. São o caso dos pára-raios, dos condutores de descida e as estacas de aterramento.

Quanto maior for o uso dos componentes naturais tanto mais econômico, mais estético e mais eficiente será o sistema de proteção. Devemos distinguir ainda dois tipos de proteção:

- Proteção Isolada: É aquela em que os componentes do sistema de proteção estão colocados acima e ao lado da estrutura mantendo

uma distância em relação a esta suficientemente alta para evitar descargas captor - teto ou descidas nas faces laterais e fachadas;

- Proteção Não Isolada: É aquela em que os captadores e as descidas são colocados diretamente sobre a estrutura. Note-se que as normas editadas até a década de 60 pediam um afastamento dos condutores de poucos centímetros, o que não é exigido por todas as normas a partir da década de 70.

## 4.2 – Os métodos de proteção

Os diferentes métodos de proteção são, na verdade, diferentes maneiras de se captar os raios, visto que as descidas e o aterramento permanecem os mesmos. Temos então dois princípios de captação: um deles, utilizado pelos métodos Franklin e Eletrogeométrico, utiliza-se de condutores metálicos verticais (normalmente chamados de pára-raios) ou horizontais suspensos (cabo guarda); no outro princípio, utilizado pelo método de Faraday, temos condutores horizontais não suspensos formando uma malha sobre a estrutura.

Os métodos de Franklin e Eletrogeométrico diferem quanto ao modelo matemático utilizado: o Franklin é baseado apenas em observações, enquanto o Eletrogeométrico utiliza um modelamento estudado e comprovado. A tendência mundial é o desaparecimento do Franklin, mantido em algumas normas apenas para facilitar uma evolução gradual para o Eletrogeométrico, embora alguns países já não mais o utilizem, notadamente os Estados Unidos e a Dinamarca.

### 4.2.1 – O Método Franklin

Este método é baseado na proposta inicial feita por Benjamim Franklin e tem por base uma haste elevada. Esta haste, em forma de ponta, produz sob a nuvem carregada uma alta concentração de cargas elétricas, juntamente com um campo elétrico intenso. Isto

produz a ionização do ar, diminuindo a altura efetiva da nuvem carregada, o que propicia o raio através do rompimento da rigidez dielétrica da camada de ar, conforme figura 4.6.

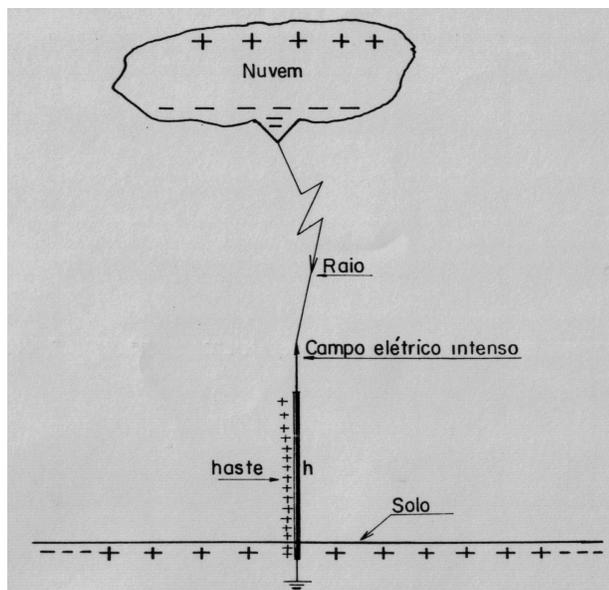


Figura 4.4 – Método Franklin, Fonte: Kindermann, (1997)

O raio captado pela ponta da haste é transportado pelo cabo de descida e escoado na terra pelo sistema de aterramento. Se a bitola do cabo de descida, conexões e aterramento não forem adequados, as tensões ao longo do sistema que constitui o pára-raios serão elevadas e a segurança estará comprometida.

Apesar de ter sofrido várias propostas de alteração quanto ao ângulo de proteção ou ao volume de proteção, o método Franklin foi objeto de estudo quanto à determinação do volume de proteção de uma haste vertical e o valor do ângulo de proteção, conforme figura 4.5.

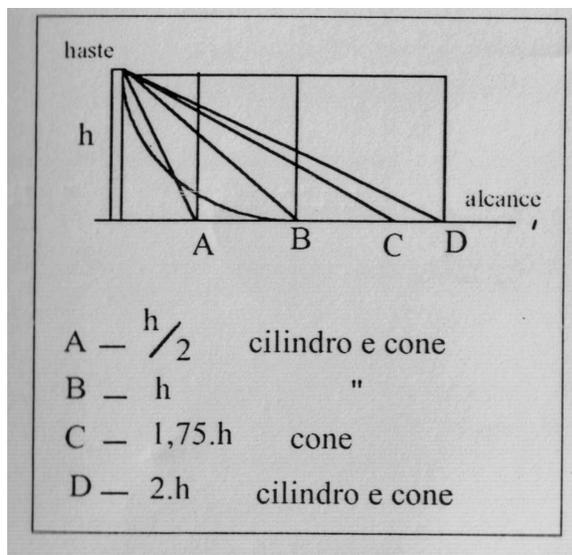


Figura 4.5 – Volume de Proteção, Fonte: Leite, (1993)

Na figura, observa-se que a maioria das propostas se refere a um cone de proteção, cujo volume de proteção seria obtido nos diferentes casos pelo giro em torno de um eixo vertical de um triângulo retângulo, de um triângulo retângulo com a hipotenusa curva ou ainda de um retângulo. As hipóteses do cilindro de proteção, embora propostas por cientistas de renome, não tiveram aceitação e não foram incluídas nas normas técnicas de proteção contra raios.

A proposta inicial de Franklin de um terminal pontiagudo para aproveitar o efeito das pontas não está correta. Pode-se demonstrar em laboratório de alta tensão que um terminal arredondado apresenta um desempenho melhor que um pontiagudo, mas a diferença é pequena e a influência da forma do terminal é desprezível em termos práticos. A explicação física é que sendo pontiagudo o terminal, quando há um aumento do campo elétrico surgem partículas ionizadas, formando-se uma esfera condutora (ou efeito corona) que uniformiza o campo e dificulta a saída do líder ascendente. Se a ponta for arredondada (ou rombuda) não haverá esse efeito e o líder ascendente sairá instantaneamente a um valor mais baixo do campo elétrico. O valor do assim chamado raio crítico para o terminal é de difícil determinação, pois ele depende da forma da onda da tensão com que é realizado o ensaio, melhor dizendo, depende dos tempos de subida até a crista e da duração do impulso de tensão. Dessa forma, podemos afirmar que a eficiência do método não depende da forma

do captor, sendo indiferente usar captor de 1, 2, 3 ou mais pontas, de forma que o importante para esse método é que haja um captor em forma de buquê. Posteriormente, o mesmo princípio do ângulo de proteção foi estendido a captores sob a forma de condutores horizontais suspensos por postes ou torres e usados principalmente na proteção de linhas de transmissão de alta tensão e na proteção isolada de edificações.

O volume de proteção de uma haste vertical é o de um cone, com ângulo no vértice igual ao ângulo de proteção, obtido pela rotação de um triângulo retângulo e, no caso dos condutores horizontais suportados por hastes verticais, o volume de proteção será obtido pelo deslocamento horizontal do cone de proteção desde a posição de uma haste até a posição da outra haste, como mostrado nas figuras 4.6.

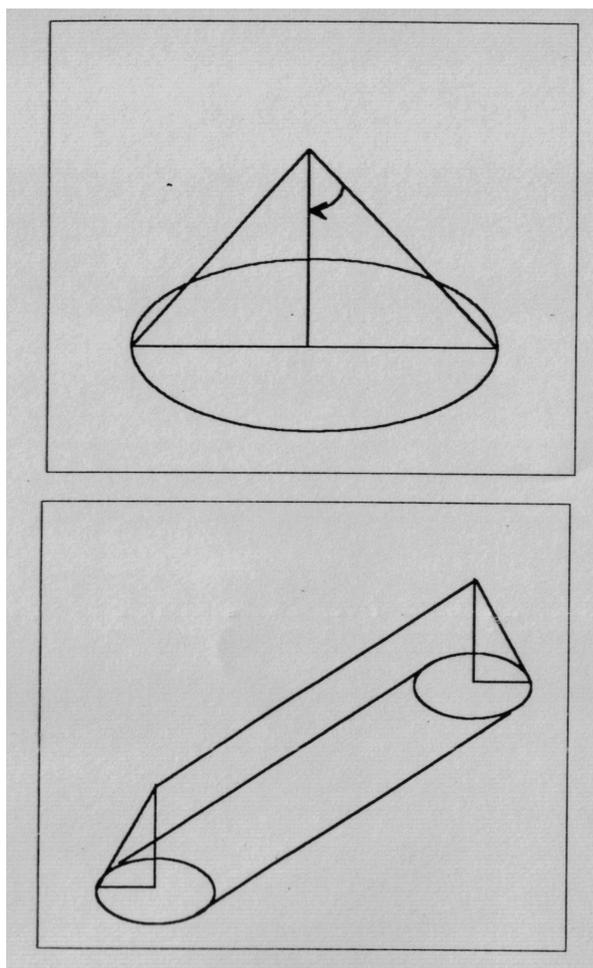


Figura 4.6 – Cone de Proteção, Fonte: Leite, (1993)

Este volume de proteção raramente é obtido na prática, pois o condutor horizontal é um cabo tensionado pelos suportes verticais e descrevendo uma curva (catenária) que depende do seu próprio peso e da tensão com a qual for esticado.

#### 4.2.1.1 – O ângulo de proteção

Esta sempre foi à questão mais discutida neste método de proteção, uma vez que este pode variar de 30° até 90°. Na proteção das linhas de transmissão pode-se usar até ângulo negativo (o ângulo de proteção é dito negativo quando o cabo pára-raios está colocado para fora da fase mais externa da linha de transmissão), considerado necessário nas altas tensões, uma vez que as alturas das torres são muito grandes.

Durante dezenas de anos não houve preocupação com a altura do captor, admitindo-se que o ângulo de proteção era o mesmo qualquer fosse à altura da haste ou do cabo horizontal. A constatação, porém, da queda de raios praticamente ao pé das grandes torres de telecomunicações e do aumento da falha na blindagem nas linhas de transmissão ao se passar da classe de 138 kV para 230 kV e 345 kV mostrou que havia uma dependência entre os dois parâmetros. As normas de proteção de estruturas introduziram limites para a altura ao se estabelecer o ângulo de proteção levando-se em conta também a existência de quatro níveis de proteção, estabeleceu os seguintes ângulos de proteção:

Tabela 4.1 – Ângulo do cone de proteção em função do nível de proteção para até 20m, Fonte: NBR 5419, (2005)

Nível	Ângulo
I	25
II	35
III	45
IV	55

Tabela 4.2 – Ângulo de proteção em função do nível e da altura da estrutura para até 60m, Fonte: NBR 5419, (2005)

H Nível	20	30	45	60
I	25	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
II	35	25	Não se aplica	Não se aplica
III	45	35	25	Não se aplica
IV	55	45	35	25

Assim, por exemplo, se tivermos uma estrutura comum (nível III) com altura até 20 metros, usaremos  $45^\circ$ , enquanto que se a estrutura for de alto risco para as vizinhanças (nível I) e tiver altura não superior a 20 metros, o ângulo deve ser de  $25^\circ$ . Quando existirem 2 hastes verticais ou dois condutores horizontais próximos, o ângulo de proteção entre eles pode ser aumentado de modo que os captosres poderão ser mais afastados e o ângulo interno aumentado em  $10^\circ$ , conservando-se o ângulo respectivo para a parte externa.

#### 4.2.1.2 – Determinação do volume de proteção

Para sabermos se uma dada estrutura está dentro do volume de proteção, no caso do método Franklin, deveremos verificar se toda a estrutura está dentro do volume de proteção dos cones ou dos condutores horizontais suspensos. Para isso, verifica-se a posição dos captosres tanto em plantas como em elevação e cortes laterais.

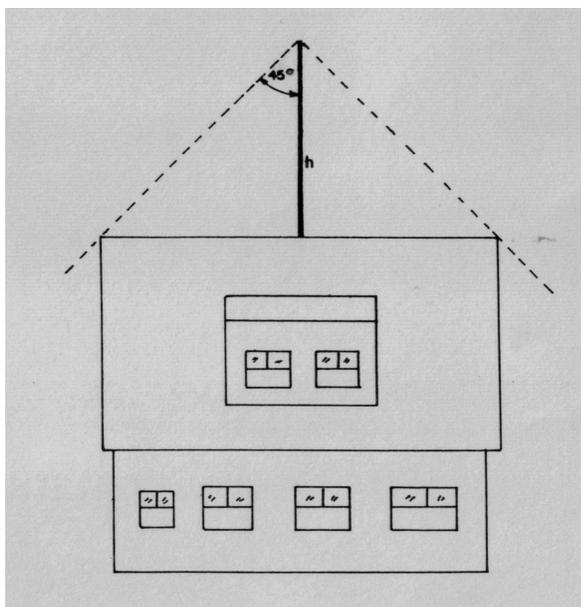


Figura 4.7 – Corte Lateral, Fonte: Kindermann, (1997)

Para o caso de telhados planos costuma-se determinar a intersecção dos cones de proteção com o plano do teto, traçando-se sobre a planta do teto as circunferências com os raios correspondentes a alturas das hastes e do ângulo de proteção escolhido. O raio da circunferência será  $h * tg\alpha$ , onde  $h$  é a altura da ponta do captor em relação ao plano do teto e  $\alpha$  é o ângulo de proteção. Os valores de  $tg\alpha$  serão para nível de proteção:

Tabela 4.3 – Nível de Proteção, Fonte: NBR 5419, (2005)

Nível	$\alpha$	$tg\alpha$
I	25	0,46
II	35	0,70
III	45	1,00
IV	55	1,43

#### 4.2.2 – Método da Gaiola ou da Malha de Faraday

Este método, que é o mais utilizado atualmente, é baseado numa teoria de Michael Faraday (1791-1867), segundo a qual o campo no interior de uma gaiola é nulo, mesmo quando passa por seus condutores uma corrente de valor elevado. Para que o campo seja nulo, é preciso que a corrente se distribua uniformemente por toda a superfície. A proteção máxima no caso do método de Faraday é obtida quando a estrutura é envolvida por uma caixa metálica com espessura suficiente para suportar o efeito térmico do raio no ponto de impacto. Como esta solução raramente pode ser adotada, o método Faraday consiste em instalar um sistema de captos formado por condutores horizontais interligados em forma de malha.

##### 4.2.2.1 – Lei de Lenz

Qualquer sistema condutor em anel, tende a reagir às variações de campos magnéticos. Esta reação se dá pela circulação de corrente induzida no anel, que por sua vez, cria um campo magnético contrário à variação do campo magnético indutor. Esta é a famosa Lei de Lenz, proposta pelo cientista H.F.E. Lenz (1804 – 1864), que é fundamental na determinação do sentido da corrente induzida.

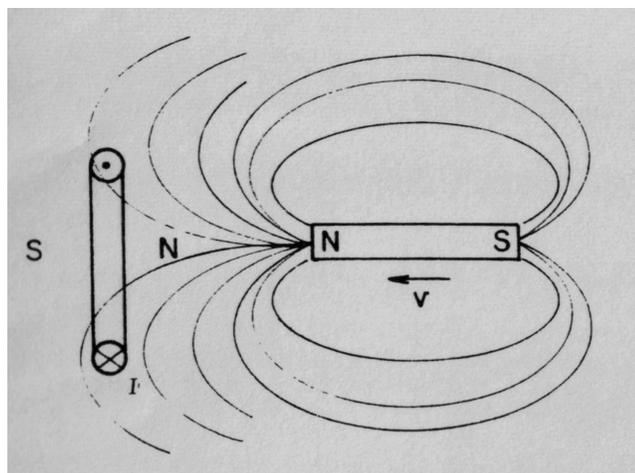


Figura 4.8 – Lei de Lenz, Fonte: Kindermann, (1997)

#### 4.2.2.2 – Princípio de Proteção por Faraday

O princípio básico deste tipo de proteção é a Lei de Lenz. A Gaiola de Faraday é formada por vários anéis de condutores, cuja função é evitar a penetração do raio no interior do prédio. Faraday, na sua famosa experiência, demonstrou que quando as correntes uniformemente distribuídas passam pela Gaiola, o campo magnético no interior da mesma é nulo. Quando as correntes não são uniformes, o campo no seu interior não é nulo, mas muito pequeno. O raio ao cair na estrutura, não produz uma dissipação uniforme e por esse motivo ocorrem induções internas devido à variação do campo magnético existente no interior da Gaiola.

A proteção devido à Gaiola de Faraday se dá porque as correntes induzidas nos anéis criam campos magnéticos de oposição, levando o raio para as bordas da malha e obrigando-o a fluir para os condutores de descida.

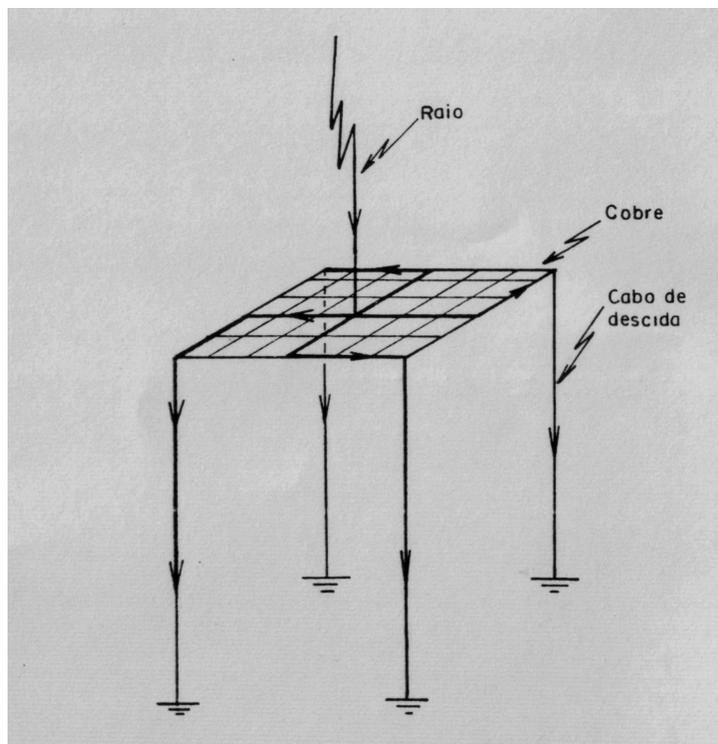


Figura 4.9 – Gaiola de Faraday, Fonte: Kindermann, (1997)

Quanto mais malhada for a gaiola, melhor a blindagem e portanto, melhor a proteção. A proteção somente será máxima quando toda a gaiola for metálica, isto é, o prédio estiver dentro de uma caixa metálica contínua.

#### 4.2.2.3 – Dimensões dos anéis da Gaiola de Faraday

A distância entre os condutores ou a abertura da malha está relacionada com o nível de proteção desejado, ou seja, quanto menor a distância entre os condutores da malha melhor será a proteção obtida. Para obter os mesmos níveis de proteção do método Franklin, as seguintes distâncias mínimas com os respectivos níveis de proteção:

Tabela 4.4 – Nível de Proteção, Fonte: NBR 5419, (2005)

Nível de Proteção	Distância Máxima dos Espaçamentos
I	5,0m
II	10,0m
III	10,0m
IV	20m

A distância na outra direção é adotada como igual a 1,5 a 2,0 vezes a distância anterior, obtendo-se as malhas seguintes malhas básicas:

Tabela 4.5 – Nível de Proteção, Fonte: NBR 5419, (2005)

Nível	Malha
I	5 x 7,5 a 5 x 10
II	10 x 15 a 10 x 20
III	10 x 15 a 10 x 20
IV	20 x 20 a 20 x 30

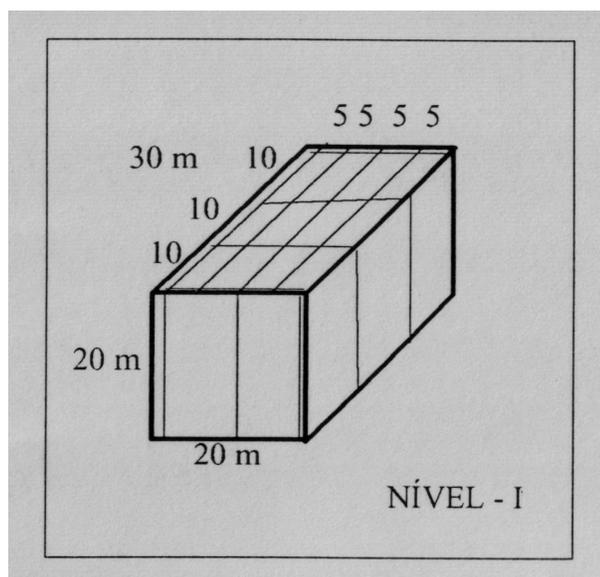
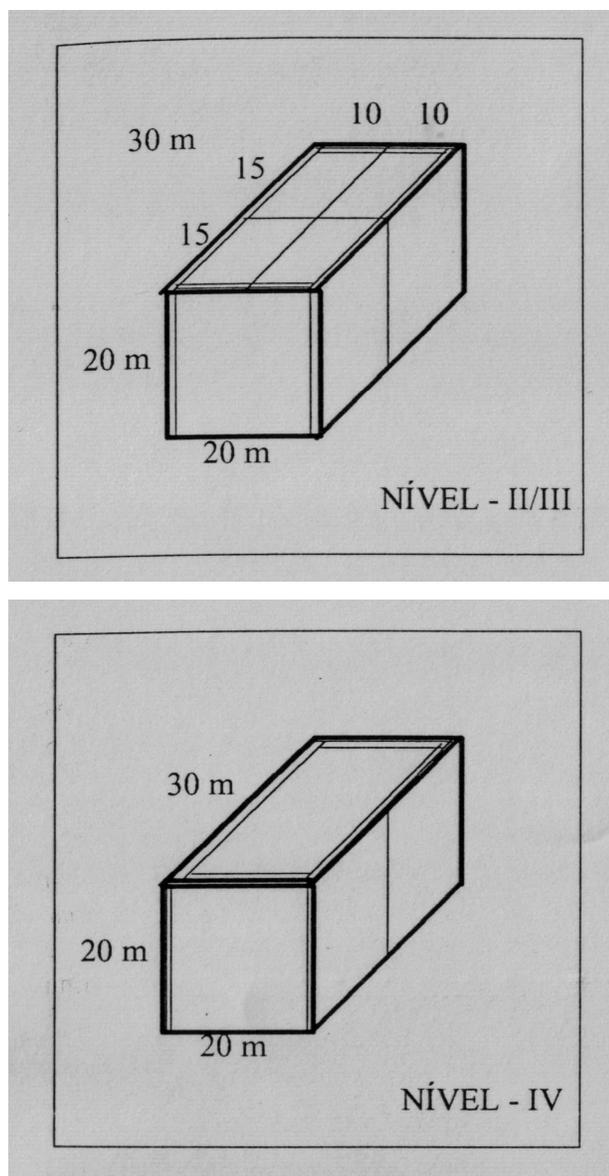


Figura 4.10 – Níveis de Proteção, Fonte: Leite, (1993)



Figuras 4.10 – Níveis de Proteção, Fonte: Leite, (1993)

Para diminuir a possibilidade dos condutores da malha captora ser danificados nos pontos de impacto, algumas normas recomendam a colocação de pequenos captosres verticais (30 a 50 cm de altura) com distância de 5 a 8 metros ao longo dos condutores da malha. Chamamos a atenção para o fato de que o campo elétrico no interior da estrutura nunca será nulo, pois as correntes que passam pelos condutores criam campos magnéticos em torno deles e, portanto, no interior da estrutura. Por esse motivo, deve-se evitar a colocação de condutores das instalações elétricas no interior dos prédios em posição paralela à dos condutores horizontais das malhas.

### 4.2.3 – Modelo Eletrogeométrico

É a mais moderna ferramenta de que dispõem os projetistas dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. É baseado em estudos feitos a partir de registros fotográficos, da medição dos parâmetros das descargas, de ensaios em laboratório para estudo das descargas através de longas distâncias e do emprego das técnicas de simulação e modelagem matemática. A necessidade de um modelo surgiu inicialmente para proteção das linhas de transmissão e foi depois simplificado para uso na proteção de estruturas.

Neste modelo, a nuvem é representada por anéis concêntricos em torno do líder descendente vertical, o qual é desviado para um objeto aterrado, no caso um cabo suspenso, no qual se inicia um líder ascendente vertical. Os dois líderes vão caminhando um na direção do outro, sempre na direção em que o campo é máximo, através de zonas denominadas de streamer (descargas de baixa intensidade e intermitentes). O modelo eletrogeométrico para aplicação na proteção das estruturas admite algumas hipóteses simplificadoras expostas a seguir:

- Só são consideradas as descargas negativas iniciadas nas nuvens;
- O líder descendente é vertical e único (não tem ramificações);
- A descarga final se dá para o objeto aterrado mais próximo independente de sua massa ou condições de aterramento;
- As hastes verticais e dos condutores horizontais têm o mesmo poder de atração;
- A probabilidade de ser atingida uma estrutura aterrada ou o plano de terra é a mesma se o líder estiver à mesma distância de ambos.

No modelo eletrogeométrico, a distância de atração, ou raio de atração  $R_a$  é calculada pela equação 4.1.

$$R_a = a * I^b \quad (4.1)$$

Onde  $a$  e  $b$  são constantes para as quais existem diferentes propostas de vários pesquisadores. Quando aplicado às estruturas, adotamos a seguinte equação:

$$Ra = 10 * I^{0,66} \quad (4.2)$$

#### 4.2.3.1 – Zona Espacial de Proteção

É a região subentendida em torno da estrutura, na qual as descargas elétricas que ali incidiriam tenderiam a fluir para o sistema de proteção, ou seja, é a região realmente protegida. Esta zona protegida é a região em que a esfera rolante não consegue tocar. A esfera é rodada sobre o solo e sobre o sistema de proteção e a região em que ela não tocar é a zona protegida, conforme figura 4.13.

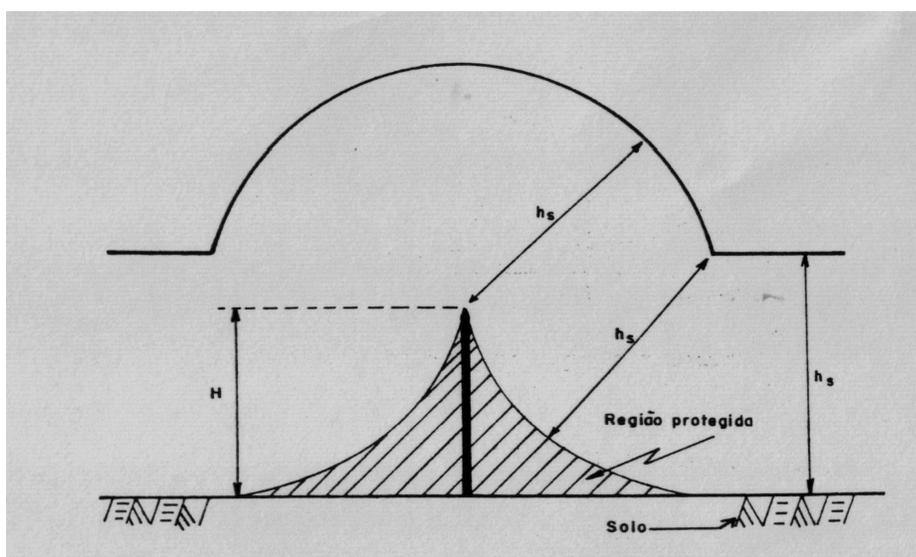


Figura 4.11 – Zona Espacial de Proteção, Fonte: Kindermann, (1997)

A linha com traço cheio é o lugar geométrico do centro da esfera rolante e a região limitada pela linha pontilhada é a zona protegida. Qualquer estrutura ficará protegida se estiver totalmente contida na zona de proteção.

## 4.3 – Comentários e comparativo entre os três métodos

### 4.3.1 - Método Franklin

Era o mais usado no Brasil por ser o único previsto na antiga norma NB 165, sendo o de cálculo manual mais fácil, embora mais trabalhoso. Seu emprego vem diminuindo no caso de edifícios de áreas grandes, porque se forem feitas às interligações entre os captores para diminuir os campos magnéticos e as tensões ao longo das descidas, se obtém uma malha sobre o teto da estrutura que estará protegida pelo método Faraday. Os captores de 2, 3 ou 4 metros poderão ser substituídos por pequenos captores de 30, 40 ou 50 cm, para proteção dos condutores da malha. Uma vantagem dos captores altos é afastar a descarga do teto, diminuindo o risco de danos às telhas pela ação do deslocamento de ar proveniente da descarga. A tendência é a proteção Franklin se restringir as pequenas estruturas (residências e prédios pequenos), em virtude da ineficiência e da poluição visual.

### 4.3.2 – Método Faraday

O emprego deste método vem aumentando basicamente por duas razões:

- Estética: não interfere no visual da estrutura, principalmente se os condutores estiverem assentados diretamente sobre do teto;
- Técnica: há uma divisão de corrente entre os condutores da malha que, combinada com a divisão entre as descidas, proporciona uma redução dos campos eletromagnéticos no interior da estrutura.

### **4.3.3 – Modelo Eletrogeométrico**

Como os captosres são hastes verticais, pode sofrer restrições do ponto de vista estético, mas para as estruturas industriais, pátios, áreas abertas e praças de esporte, o modelo eletrogeométrico tem emprego crescente e, devido à facilidade de automatização dos cálculos, também tem a preferência de muitos projetistas. É um dos métodos recomendados por todas as normas a partir de 1980, sendo o mais econômico. É ainda utilizado na proteção de linhas de transmissão e subestações. A utilização racional de componentes naturais das edificações como estruturas metálicas de telhados, rufos, telhas metálicas, armações de aço do concreto armado, pode reduzir consideravelmente os custos e aumentar a eficiência do sistema captor.

## **4.4 – Os Captosres**

Captor é o elemento metálico fixado no ponto mais alto da estrutura, capaz de propiciar um campo elétrico intenso e conseqüentemente, uma grande concentração de cargas elétricas, resultando na diminuição da rigidez dielétrica do ar e na captação do raio. O captor pode ser construído de bronze, latão, ferro ou aço inoxidável, podendo conter várias pontas, fato que contribui para uma maior distribuição do impacto da descarga elétrica do raio. Um fator polêmico do captor trata do seu formato, que poderá ser pontiagudo ou com formato esferóide. Estudos realizados em laboratórios de alta tensão afirmam que não existem diferenças significativas no desempenho dos captosres associados aos diferentes formatos existentes.

### **4.4.1 – Materiais e dimensionamento dos Captosres**

Como materiais para fabricação dos captosres, podem ser utilizados o cobre e suas ligas, o alumínio e suas ligas, o aço inoxidável e o aço galvanizado a quente. A escolha entre esses materiais fica a critério do projetista, que deve levar em conta os poluentes da

região, a presença de sal em regiões costeiras e de gases como enxofre em regiões industrializadas.

Quanto ao dimensionamento, a norma NBR 5419/2005 estabelece as seguintes seções mínimas para condutores cilíndricos ou cabos:

Tabela 4.6 – Seções mínimas para captores, Fonte: NBR 5419, (2005)

Material	Seção
Cobre	35mm <sup>2</sup>
Alumínio	70mm <sup>2</sup>
Aço	50mm <sup>2</sup>

Para barras chatas, cantoneiras e tubos são estabelecidas espessuras mínimas da parede do perfil:

Tabela 4.7 – Espessuras Mínimas de captores, Fonte: NBR 5419, (2005)

Material	Espessura mínima
Cobre	5,0mm
Alumínio	7,0mm
Aço	4,0mm

De uma maneira geral, o aço galvanizado apresenta um custo final mais baixo, devendo-se, no entanto, tomar um cuidado especial com as pontas dos cabos ou com os furos para emendas e fixações. Todos os furos e cortes devem ser efetuados antes da galvanização, o que exige um dimensionamento cuidadoso das peças e acessórios de emenda. Em termos de custo, o material seguinte é o alumínio, para o qual os cuidados devem ser dirigidos para os pontos de contato com outros materiais, onde pode haver corrosão mais intensa e para os locais onde há respingos constantes de água ou outros líquidos, que podem retirar a camada protetora de óxido. O alumínio pode ser utilizado nas descidas porem não nos aterramentos, o que leva a necessidade de cuidados especiais na ligação com os materiais utilizados nos aterramentos – cobre e aço galvanizado.

O cobre, embora mais caro, é geralmente mais resistente às intempéries e, como pode ser usado também nas descidas e nos aterramentos, tem no Brasil a preferência dos instaladores. Nas grandes construções, no entanto, a sua facilidade de instalação e manutenção deve ser confrontada com o custo. A forma habitualmente usada é a de cabo, mas pode-se utilizar com boa redução de custo a barra cilíndrica, comprada em rolos dos fabricantes de cabos.

#### 4.4.2 – Captores Radioativos

Dentre os captosres com poder de atração supostamente aumentada, o de maior popularidade e emprego foi sem dúvida nenhuma o radioativo. Atualmente o seu uso foi suspenso no Brasil pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, o mesmo tendo acontecido com a maioria dos países. Essa restrição está ligada ao desejo de evitar a disseminação do material radioativo ao alcance de leigos, pois após a instalação não se tinha mais controle, podendo haver contaminação quando da desmontagem e da destinação final dos captosres retirados. A experiência prática brasileira mostrou que o alcance não era o anunciado, sendo hoje conhecidos inúmeros casos de falha.



Figura 4.12 – Captor Radioativo, Fonte: Altoé, (2003)

#### 4.5 – Os Condutores de Descida

Após a descarga atmosférica ter sido recebida pelo sistema de captosres, as correntes correspondentes deverão ser conduzidas ao sistema de aterramento por um conjunto de condutores denominados condutores de descida (lightning conductors ou down conductors). O numero de condutores utilizados, o distanciamento entre eles e a respectiva secção transversal deverão ser escolhidos de maneira que:

- Os condutores suportem térmica e mecanicamente as correntes;
- Não haja descargas laterais;
- Os campos eletromagnéticos internos sejam mínimos;
- Não haja risco para as pessoas próximas;
- Suportem o impacto dos raios (nas estruturas altas);
- Não haja danos às paredes (se forem inflamáveis);

Deve-se considerar que as correntes do raio procurarão naturalmente caminhos externos à estrutura e seguirão os percursos mais curtos e retilíneos. Se não oferecermos esses caminhos, elas os procurarão com riscos de danos às estruturas, às pessoas e aos equipamentos internos.

#### 4.5.1 – Indutância dos Condutores de Descida

A indutância é a propriedade de um condutor que permite o armazenamento de energia em um campo magnético, sendo que a quantidade de energia armazenada depende da corrente que passa pelo condutor. Se tivermos um condutor singelo de raio muito pequeno, produzindo uma corrente “i”, o campo magnético a uma dada distância “r” do condutor será diretamente proporcional à corrente “i” e inversamente proporcional à distância, sendo a corrente “i” dada em amperes, à permeabilidade  $\mu$  do meio dada em Henry/metro e a distância “r” em metros, que resulta uma densidade de fluxo B em weber/m<sup>2</sup> dada por:

$$B = \frac{\mu * i}{2 * \pi * r} \quad (4.3)$$

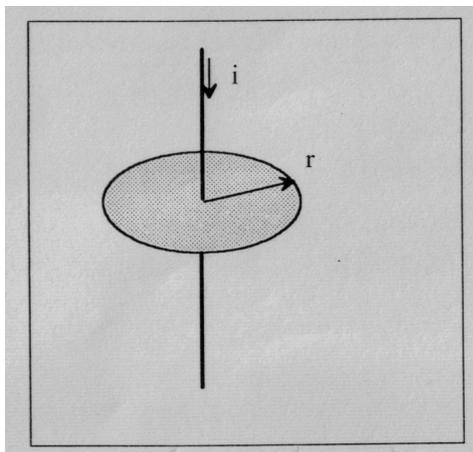


Figura 4.13 – Indutância dos Condutores de Descida, Fonte: Leite, (1993)

Considerando que o condutor tenha um raio infinito  $r_1$ , o fluxo total desde a superfície do condutor até uma distância  $R$  será dado por:

$$\phi = \int_{r_1}^R \frac{\mu \cdot i \cdot dr}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (4.4)$$

E a indutância, definida como a relação entre o fluxo e a corrente “ $i$ ” será:

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{R}{r_1} \quad (4.5)$$

Para os condutores de seção circular usados nas instalações de proteção, como captadores, descidas ou aterramentos, as indutâncias são as seguintes:

Tabela 4.8 – Indutâncias para condutores de seção circular, Fonte: Leite, (1993)

Condutor	Indutância
16mm <sup>2</sup>	2,60μH/m
35mm <sup>2</sup>	2,52 μH/m
50mm <sup>2</sup>	2,48 μH/m
70mm <sup>2</sup>	2,45 μH/m
95mm <sup>2</sup>	2,42 μH/m

Vemos que, aumentando a secção do condutor, sua indutância vai diminuindo, mas ficará sempre em torno de  $2,5 \mu\text{H/m}$ , independente do material que for utilizado. A taxa de crescimento da corrente  $di/dt$  é diretamente proporcional à tensão “e” que impõe a passagem da corrente e inversamente proporcional à indutância “L” em Henrys:

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{e}{L} \quad (4.6)$$

Para que haja passagem de corrente por um condutor, é preciso que exista uma tensão que vença a sua indutância. Quando um raio atinge um condutor, aparecerá entre seus terminais uma tensão que imporá a passagem de uma corrente com uma taxa  $di/dt$ . Considerando que as correntes de raio têm  $di/dt$  da ordem de dezenas de  $\text{kA}/\mu\text{s}$  e que as indutâncias dos condutores de descida são da ordem de  $2,5\mu\text{H/m}$ , as tensões indutivas geradas são da ordem de dezenas de  $\text{kV/m}$ . Dessa forma, para evitar que as tensões geradas ao longo dos condutores provoquem descargas disruptivas, arcos elétricos ou arcos voltaicos entre as descidas e as peças metálicas próximas, pode-se aumentar as distâncias perigosas e equalizar os potenciais, diminuindo assim, os riscos de geração de correntes induzidas.

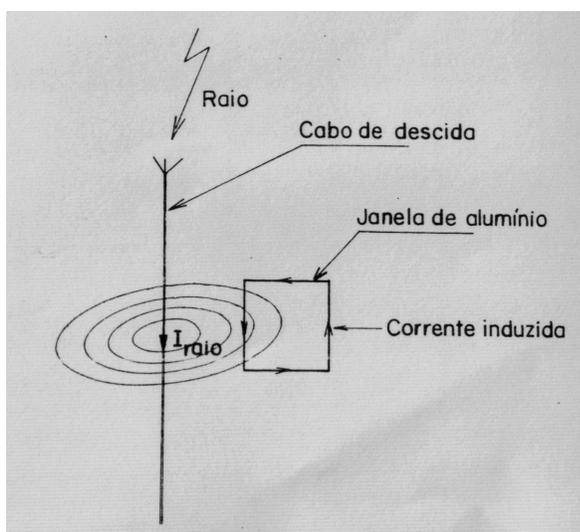


Figura 4.14 – Correntes Induzidas, Fonte: Kindermann, (1997)

#### 4.5.2 – Materiais para as descidas

Poderão ser utilizados condutores de cobre, alumínio ou aço galvanizado a quente. A escolha entre esses materiais deve ser feita considerando a poluição do ambiente e o custo. O cobre é em geral o mais utilizado no Brasil, porém é mais caro, além de apresentar, em alguns casos, maior corrosão que o alumínio e o aço galvanizado, devendo-se, considerar a compatibilidade de materiais diferentes nas junções e conexões.

#### 4.5.3 – Dimensões

A secção transversal mínima especificada pela norma NBR 5419/2005 é a calculada pelos efeitos térmicos e eletrodinâmicos causados pela passagem da corrente das descargas atmosféricas. No caso de prédios de até 20 metros de altura, os efeitos térmicos são apenas os da passagem de corrente e, para os acima de 20 metros de altura, onde pode haver descargas laterais, são considerados também os efeitos do arco elétrico no ponto de impacto.

Tabela 4.9 – Dimensões dos condutores de descida, Fonte: NBR 5419, 2005

H	Até 20m	Acima de 20m
Material		
Cobre	35 mm <sup>2</sup>	35 mm <sup>2</sup>
Alumínio	50 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>
Aço galvanizado	50 mm <sup>2</sup>	80 mm <sup>2</sup>

#### 4.5.4 – Quantidade, espaçamento e encaminhamento das descidas

As descidas devem estar distribuídas ao longo do perímetro das estruturas e com um espaçamento máximo de acordo com o nível de proteção:

Tabela 4.10 - Espaçamentos máximos conforme o nível de proteção, Fonte: NBR 5419, 2005

Nível	Espaçamento Máximo
I	10m
II	15m
III	20m
IV	25m

O número mínimo de descidas especificadas pela norma NBR 5419/2005 é de duas. Quanto melhor for a distribuição das descidas e maior o seu número, menores serão os campos eletromagnéticos no interior e menores os riscos pessoais próximos às descidas na parte externa. As correntes não se distribuem uniformemente entre as várias descidas especialmente quando o raio cai num dos cantos da estrutura, o que é o caso mais comum. Quando isso acontece, aproximadamente 50% da corrente escoar para a terra pelo condutor de descida do canto. Como a corrente tende a seguir o caminho de descida mais curto, as descidas não devem formar laços, pois estes aumentam a indutância e podem dar origem a descargas perigosa com risco de incêndio.

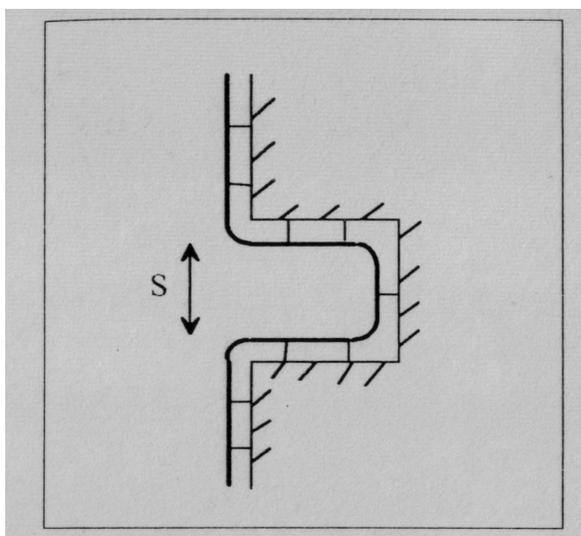


Figura 4.15 – Caminho de Descida, Fonte: Leite, (1993)

#### 4.5.5 – Superfícies Equipotenciais na Estrutura

Devido às diferenças de potenciais que aparecem ao longo do condutor de descida e conseqüentemente, ao surgimento de tensões induzidas nos condutores adjacentes, podem ocorrer no interior da estrutura danos materiais (perfuração devido ao centelhamento) e pessoais (choque elétrico). Em um projeto de SPDA, os cabos de descida não formam uma distribuição uniforme e simétrica, podendo ser gerados potenciais distintos em uma mesma altura do prédio durante uma descarga. Deste modo, é conveniente ligar todos os cabos de

descida por um condutor horizontal próximo ou junto ao solo e a cada 20 metros de altura.

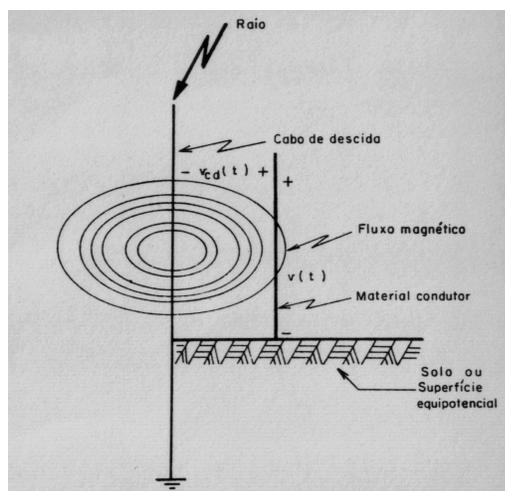


Figura 4.16 – Tensões Induzidas, Fonte: Kindermann, (1997)

Esta ligação tem o objetivo de formar uma superfície equipotencial, que mantém o potencial no mesmo nível de tensão, evitando deste modo diferenças de potenciais entre quaisquer pontos nesta estrutura de equalização. Deste modo, esta superfície de equalização pode ter momentaneamente o seu potencial levantado em relação ao solo, porém toda a estrutura ficará com o mesmo potencial, evitando deste modo faiscamentos e riscos quanto à segurança. Como as correntes que trafegam pela estrutura de equalização de potenciais são pequenas, suas dimensões são menores que as dos cabos de descida. A superfície equipotencial pode ser feita aproveitando a própria armação metálica da laje e vigas do prédio, desde que as conexões sejam feitas convenientemente.

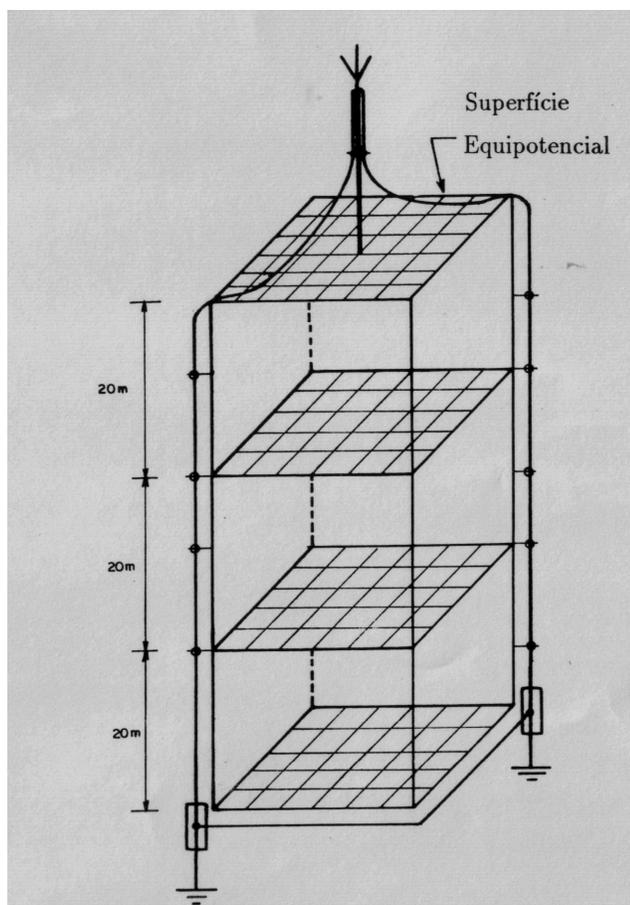


Figura 4.17 – Superfícies Equipotenciais, Fonte: Kindermann, (1997)

## 4.6 - Sistemas de Aterramento

Aterrar um equipamento elétrico ou um componente de determinado sistema elétrico consiste em ligá-lo eletricamente a terra por meio de dispositivos apropriados. As principais finalidades de um sistema de aterramento são:

- Propiciar uma baixa resistência de aterramento;
- Manter valores de tensão carcaça-terra e estrutura-terra dentro do nível de segurança para pessoas e animais, no caso de as partes metálicas da carcaça (ou estrutura) ser acidentalmente energizadas;

- Proporcionar um caminho de escoamento para a terra das descargas atmosféricas ou sobretensões devidas a manobras de equipamentos, dissipando no solo as correntes dos raios sem provocar tensões de passo perigosas.
- Permitir que os equipamentos de proteção isolem rapidamente as falhas a terra;
- Diminuir os valores de tensão fase - terra do sistema, fixando a tensão de isolamento a valores determinados;
- Proporcionar o escoamento para a terra, da eletricidade estática gerada por equipamentos ou por indução, evitando o faiscamento;

Em conseqüência, na prática, os sistemas de aterramento são classificados por Aterramento de Segurança e Aterramento de Serviço:

- ✓ Aterramentos de Segurança: Tem por objetivo evitar acidentes com o pessoal, no caso de as partes aterradas serem energizadas acidentalmente. É o caso do aterramento da carcaça dos motores elétricos, do aterramento das partes metálicas não energizadas das instalações elétricas.
- ✓ Aterramentos de Serviço: Tem por objetivo a melhoria dos serviços elétricos. É o caso do aterramento do ponto neutro dos transformadores trifásicos ligados em estrela, do aterramento do fio neutro das redes de distribuição de energia elétrica.

Basicamente, um aterramento é constituído pelos seguintes elementos:

- Eletrodo de Aterramento: É um condutor metálico ou um conjunto de condutores metálicos cravados na terra. Podem ser de um tubo de ferro galvanizado de 3 metros de comprimento e  $\frac{3}{4}$  de diâmetro, uma cantoneira de ferro galvanizado de 3 metros de comprimento, uma haste tipo copperweld, constituída por um

varão de aço recoberto por uma camada de cobre de cerca de 1 mm de espessura, estando disponível em comprimentos de 2,40 metros e 3 metros e em diâmetros de  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{5}{8}$ , uma chapa de cobre e até um cano de água;

- Condutor Elétrico: Executa a ligação entre o equipamento e o eletrodo de aterramento.
- Terra: Envolvente ao eletrodo de aterramento.

A fim de desempenhar satisfatoriamente a sua finalidade, o aterramento deve apresentar baixa resistência de terra, possibilitando que uma corrente elétrica que a ele chegue possa facilmente se escoar para a terra circunvizinha. Assim, a resistência de terra é dada fundamentalmente pela resistência elétrica do eletrodo de aterramento, a resistência elétrica de contato entre o eletrodo de aterramento e a terra que o envolve e da resistência de terra circunvizinha, a qual depende a natureza, a temperatura e do estado do solo. Segundo a NBR 5419/2005, tanto mais eficiente será o aterramento quanto menor for a sua resistência de terra, sendo usual a seguinte classificação para valores de resistência de terra:

- Excelentes – Aterramentos com resistência inferior a 5,0 ohms;
- Bons – Aterramentos com resistência compreendida entre 5,0 e 15 ohms;
- Razoáveis – Aterramentos com resistência entre 15 e 30 ohms;
- Condenáveis – Aterramentos com resistência superior a 30 ohms.

Em instalações de grande porte, centrais elétricas e subestações, é desejável que o sistema de aterramento tenha resistência abaixo de 5,0 ohms. Em redes de distribuição de energia elétrica é recomendável o valor de 10 ohms para resistência de terra, sendo aceitável o limite de 25 ohms. A determinação do valor da resistência de terra é feita por medição, sendo a primeira medição realizada logo após a execução do aterramento e outras medições devem ser realizadas periodicamente, para o acompanhamento do desempenho do aterramento ao longo do tempo. Outro detalhe importante trata da equalização de potenciais. Uma vez estabelecida à equalização, o valor absoluto da resistência de terra não

é muito importante. Embora isso seja reconhecido pelas normas, optou-se pela recomendação de um valor de referência de  $10\Omega$ , sendo esse valor verificado pela manutenção preventiva a ser realizada ao longo dos anos. Quando não se conseguir esse valor de resistência, dever-se-á dispor de procedimentos de melhora da resistência de aterramento. Quando da instalação dos eletrodos de aterramento, devem ser observados os seguintes passos:

- Os eletrodos de terra devem obedecer à norma NBR 5419/2005;
- Os eletrodos e os condutores devem ficar afastados das fundações, no mínimo de 1 metro;
- Os eletrodos de terra devem ser localizados em solos úmidos, de preferência junto ao lençol freático, evitando-se áreas onde possa haver substâncias corrosivas;
- Em solo seco, arenoso, calcário ou rochoso, onde houver dificuldade de conseguir resistência ôhmica menor que 10 ohms, é necessária uma compensação por meio de uma maior distribuição de eletrodos ou fitas, em disposição radial, todos interligados por meio de condutores que circundem a edificação, formando uma rede;

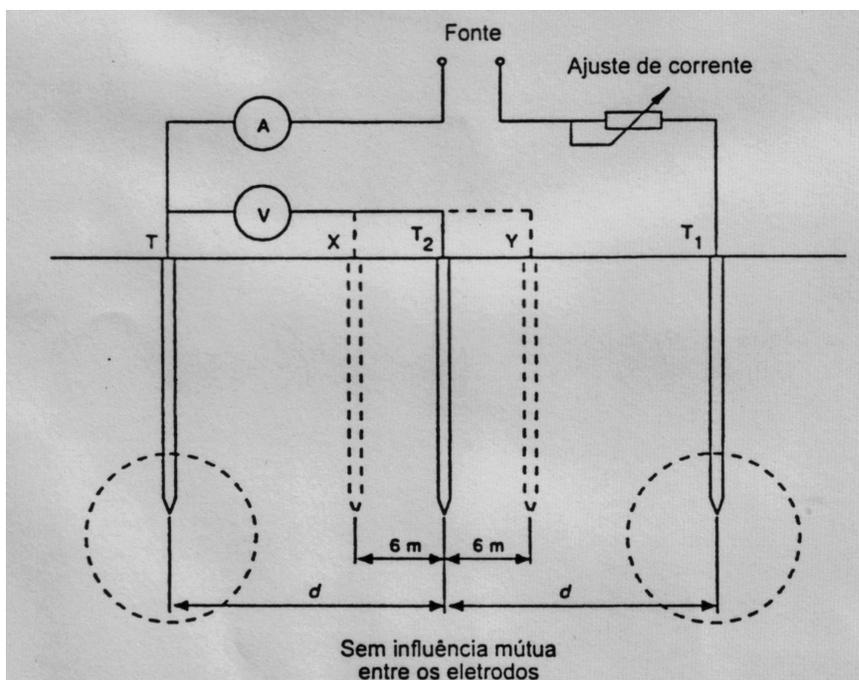
#### **4.6.1 – Medição da resistência de Aterramento**

A resistência de terra de um eletrodo pode ser feita pelo método do amperímetro e voltímetro ou, mais facilmente, por um aparelho construído especialmente para essa finalidade e que é denominado terrômetro ou telurímetro. Quando destinados somente à medição de resistência de terra, esses aparelhos têm três terminais e, se forem destinados à medição também de resistividade, terão quatro terminais. Esses aparelhos têm uma fonte própria de tensão e a leitura pode ser analógica ou digital.

Os terminais externos são de corrente e os internos são de potencial; sendo necessários eletrodos auxiliares, conectores e implementos para cravar e retirar as hastes.

As distâncias do eletrodo sob medição respectivamente aos eletrodos de potencial e de corrente devem ser da ordem de 30 e 50 ou 40 e 60 metros. As distâncias devem ser grandes para levar em conta as camadas inferiores do terreno e a verificação da adequação das distâncias ao terreno deve ser feita procurando-se achar aquelas para as quais se obtém os mesmos valores, variando-se a posição dos eletrodos de potencial, ou seja, procura-se ter os eletrodos auxiliares em uma distância tal que o valor da resistência atinja o patamar onde a variação da posição do eletrodo de potencial não altera o valor medido para a resistência de terra do eletrodo. A norma NBR 5410/2004 descreve no anexo J (normativo) 02 métodos a serem utilizados quando for necessária a medição da resistência de aterramento. Devem ser adotados os seguintes procedimentos experimentais no primeiro método:

- Uma corrente alternada de valor constante circula entre o eletrodo de aterramento sob ensaio T e o eletrodo auxiliar  $T_1$ . A localização de  $T_1$  deve ser tal que não haja influência mútua entre T e  $T_1$ ;
- Um segundo eletrodo auxiliar,  $T_2$ , que pode ser uma pequena haste metálica cravada no solo, é inserido a meio caminho entre T e  $T_1$ . A queda de tensão entre T e  $T_2$  é medida;
- A resistência de aterramento do eletrodo T é igual à tensão entre T e  $T_2$  dividida pela corrente que circula entre T e  $T_1$ , presumindo-se que não haja influência mútua entre os eletrodos;
- Para verificar se o valor de resistência está correto, duas novas medições devem ser realizadas, deslocando-se  $T_2$  cerca de 6m na direção de T e, depois, 6m na direção de  $T_1$ . Se os três resultados forem substancialmente semelhantes, a média das três leituras é tomada como sendo a resistência de aterramento do eletrodo T. Do contrario, o ensaio deve ser repetido com um espaçamento maior entre T e  $T_1$ .



4.18 – Medição da resistência de aterramento, Fonte: NBR 5410, (2004)

Onde:

- T é o eletrodo do aterramento a ser medido, desconectado de todas as outras fontes de tensão;
- $T_1$  é o eletrodo auxiliar;
- $T_2$  é o segundo eletrodo auxiliar.

Analogamente, devem ser executados os seguintes procedimentos no segundo método:

- Neste método também são utilizados dois eletrodos auxiliares, mas sem nenhuma necessidade de alinhamento. A corrente injetada deve ser compatível com uma tensão de ensaio máxima de 50 V.
- Injeta-se corrente entre os dois eletrodos auxiliares,  $T_1$  e  $T_2$ . Medem-se a corrente injetada e a tensão aplicada e calcula-se então a soma das

resistências de  $T_1$  e de  $T_2$ , dividindo-se a tensão aplicada pela corrente injetada:

$$R_1 + R_2 = \frac{U_{1-2}}{I} \quad (4.7)$$

- Em seguida, injeta-se corrente entre o eletrodo sob ensaio,  $T_0$ , e o eletrodo auxiliar  $T_1$ . Usando-se o outro eletrodo auxiliar ( $T_2$ ) como referência, medem-se então as tensões entre  $T_0$  e  $T_2$  e entre  $T_1$  e  $T_2$ . Com os valores medidos e das tensões, calculam-se as resistências de aterramento de  $T_0$  e  $T_2$ :

$$R_0 = \frac{U_{0-2}}{I} \quad \text{e} \quad R'_1 = \frac{U_{1-2}}{I} \quad (4.8)$$

- Usando agora  $T_1$  como referência, injeta-se corrente entre  $T_0$  e  $T_2$  e medem-se as tensões entre  $T_0$  e  $T_1$ . Com a corrente e as tensões medidas, calculam-se as resistências de aterramento de  $T_0$  e  $T_2$ :

$$R'_0 = \frac{U_{0-1}}{I} \quad \text{e} \quad R'_2 = \frac{U_{2-1}}{I} \quad (4.9)$$

- Comparam-se os dois valores de resistência obtidos para o eletrodo sob ensaio  $T_0$ , isto é,  $R_0$  e  $R'_0$ , bem como a soma das resistências de  $T_1$  e de  $T_2$  inicialmente obtida ( $R_1 + R_2$ ) com a soma das resistências calculadas individualmente para  $T_1$  e  $T_2$  ( $R'_1 + R'_2$ ). Se essa comparação revelar semelhança entre os valores, eles são considerados válidos. Caso contrário; devem ser realizadas novas medições, com um espaçamento maior entre os eletrodos.

- Se o ensaio for realizado à frequência industrial, a fonte utilizada para o ensaio deve ser isolada do sistema de distribuição (por exemplo, pelo uso de transformador de enrolamentos separados) e a impedância interna do voltímetro utilizado deve ser de no mínimo  $200\Omega/V$ .

#### 4.6.2 - Melhoria da resistência de terra

Quando a medição da resistência de terra indicar um valor elevado da resistência de terra, pode-se modificar o aterramento para reduzir este valor. Para isso, adota-se um ou vários dos seguintes procedimentos:

- Aprofundamento das hastes de aterramento: Existem, no mercado, hastes que podem ser prolongadas por buchas de união; o instalador vai cravando as seções através de um martetele e medindo a resistência até chegar ao valor desejado. Para as correntes do raio, os comprimentos não poderão ser muito grandes para não causar uma indutância elevada, podendo-se usar de 15 a 18 metros como limite prático. Existem, também, hastes profundas combinada com tratamento com bentonita misturada com carvão para reduzir a resistividade;
- Aumento da quantidade de hastes em paralelo: As hastes são cravadas no solo e interligadas por meio de cobre nu, dispostos cerca de 50 a 60 cm abaixo do nível do solo. O conjunto é chamado “malha de aterramento”. Dentro da malha, o afastamento entre duas hastes deve ser no mínimo, igual à soma dos seus comprimentos. Assim, se utilizarmos hastes de 3 metros de comprimento, o afastamento deve ser no mínimo, igual a 6 metros;
- Tratamento do solo: Consiste em melhorar as condições do aterramento. As substâncias mais empregadas são carvão vegetal, sucata de cobre, sucata de ferro, pó metálico. Os sais mais utilizados

no tratamento químico da terra circunvizinha ao eletrodo são o cloreto de sódio, o cloreto de cálcio, o sulfato de cobre e o sulfato de magnésio, normalmente colocados à distância do eletrodo para evitar a corrosão, sendo que ocorre sua diluição e infiltração no terreno por intermédio da chuva ou de água posta para esse fim. Existem ainda no mercado produtos especiais para tratamento químico do solo, constituídos pela mistura de diversos sais, com a denominação genérica de GEL. Tais produtos proporcionam a obtenção de resistências de aterramento reduzidas e constantes no tempo. Isso se deve capacidade higroscópica do GEL, ou seja, sua capacidade de manter determinado grau de umidade no solo;

- Aumento da área própria das hastes de aterramento: Seria, por exemplo, o caso de substituir uma haste de ½ polegada de diâmetro por outra de 1 polegada de diâmetro. Este procedimento proporciona uma pequena redução da resistência de aterramento, sendo raramente adotado.

#### **4.6.3 – Materiais, dimensionamento e resistência de aterramento.**

Os eletrodos de aterramento pode ser em cobre, aço galvanizado a quente ou aço inoxidável, não sendo permitido o uso de alumínio. É possível usar o aço revestido de cobre ou, cobre revestido de chumbo. O fator que determina o material a ser usado é a agressividade do solo. Em geral, o cobre apresenta uma boa suportabilidade à maioria dos solos, mas em alguns casos, o zinco e o chumbo são mais indicados. A forma do eletrodo de terra pode ser qualquer: cabos, barras chatas ou redondas ou ainda tubos. Outra técnica possível é utilizar uma barra como suporte para a introdução de um cabo no solo. A seção mínima do eletrodo deve ser de 50mm<sup>2</sup>, para o cobre, 80mm<sup>2</sup> para o aço galvanizado a quente ou cobreado e 100mm<sup>2</sup> para o aço inoxidável.

Além desses eletrodos enterrados no solo, podem ser usados eletrodos embutidos na fundação da estrutura, que é a solução obrigatória atualmente pelas normas alemãs de

construção civil. É também uma das soluções indicadas pela norma NBR 5419/2005. Nos grandes edifícios, pode ser utilizada ferramenta da fundação do concreto armado, que dará não apenas uma baixa resistência, mas principalmente, uma equalização completa dos potenciais através da interligação com a ferragem da laje.

# 5. AS ESTRUTURAS METÁLICAS

## DAS EDIFICAÇÕES COMO SPDA E ATERRAMENTO

As normas NBR 5419/2005 e NBR 5410/2004 determinam que os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) e os sistemas de aterramento devem dispor de uma infra-estrutura de aterramento, denominada “Eletrodo do Aterramento”, baseado preferencialmente no uso das próprias armaduras de concreto das fundações.

Dessa forma, a infra-estrutura de aterramento deve ser concebida de modo que seja confiável, satisfaça os requisitos de segurança das pessoas e instalações, que possa conduzir as correntes de falta sem risco de danos estruturais, bem como atender também aos requisitos funcionais da instalação. Conseqüentemente temos que as opções de eletrodo de aterramento e equipotencialização devem ser utilizadas conjuntamente pelo sistema de proteção contra descargas atmosféricas, usando-se para isso, as estruturas metálicas existentes nas edificações.

Nesse ponto, deve-se admitir o uso das estruturas metálicas de fundação (vigas e estruturas de concreto armado) como parte de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, uma vez que a norma NBR 5419/2005 estabelece que os condutores de descida de um SPDA sejam, preferencialmente, representados pela estrutura metálica das edificações, onde a própria estrutura desempenhará o papel de condutor de descida, bem como de eletrodo de aterramento do SPDA, em virtude da profundidade em que se encontram suas fundações.

De forma análoga, a norma NBR 5410/2004 além de tratar do aterramento das edificações através de sua estrutura metálica, estabelece também que todos os pontos de tomada devam dispor de aterramento, com tomadas do tipo 2P + T, sendo a estrutura metálica responsável pelo sistema de equipotencialização.

## 5.1 - Viabilidade e compatibilidade das estruturas metálicas como SPDA e aterramento

Para que ocorra a viabilidade e compatibilidade das estruturas metálicas como sistemas de aterramento, deve-se analisar globalmente o projeto e a execução de uma determinada edificação, seguindo atentamente as recomendações das normas NBR 5410/2004 e NBR 5419/2005, sob o risco de prejuízo técnico, funcional e financeiro caso não se observem todas as etapas do processo.

Para esse caso, onde a estrutura metálica atua no sistema de aterramento e de proteção contra descargas atmosférica, deve-se observar que a infra-estrutura de aterramento da edificação é realizada pelas próprias armaduras embutidas no concreto das fundações (armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e vigas baldrame), podendo-se considerar que as interligações naturalmente existentes entre estes elementos são suficientes para se obter um eletrodo de aterramento com características elétricas adequadas, dispensando qualquer medida suplementar.

Dessa forma, a conexão de um condutor de aterramento ao eletrodo de aterramento embutido no concreto das fundações (a própria armadura de concreto) deve ser feita garantindo-se simultaneamente a continuidade elétrica, a capacidade de condução de corrente, a proteção contra corrosão e a adequada fixação mecânica. Essa conexão pode ser executada, por exemplo, recorrendo-se a dois elementos intermediários, sendo o primeiro elemento, que realiza a derivação do eletrodo para fora do concreto, deve ser constituído por uma barra de aço zincada, com diâmetro de no mínimo 10 mm, ou fita de aço zincada de 25 mm x 4 mm e ligada ao eletrodo por solda elétrica, devendo a barra ou a fita ser protegidas contra corrosão.[1]

O segundo elemento intermediário, destinado a servir como ponto de conexão do condutor de aterramento, deve ser constituído por barra ou condutor de cobre, ligado ao primeiro elemento por solda exotérmica ou por processo equivalente do ponto de vista elétrico e de corrosão. Nesse caso, a armadura de concreto deve ter no ponto de conexão uma seção não inferior a 50mm<sup>2</sup> e um diâmetro de preferência não inferior a 8,0mm. [1]

Destaca-se ainda, que a estrutura de equipotencialização principal de um sistema de aterramento por meio da estrutura metálica deverá ser realizada reunindo-se os seguintes elementos:

- Deve-se utilizar preferencialmente as estruturas metálicas das edificações na estrutura de equipotencialização;
- As tubulações metálicas de água, de gás combustível, de esgoto, de sistemas de ar condicionado, de gases industriais, de ar comprimido, de vapor, bem como os elementos estruturais metálicos e elas associados;
- Os condutos metálicos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- As blindagens, armações, coberturas e capas metálicas de cabos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- Os condutores de proteção das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- Os condutores de interligação provenientes de outros eletrodos de aterramento porventura existentes ou previstos no entorno da edificação;
- Os condutores de interligação provenientes de eletrodos de aterramento de edificações vizinhas, nos casos em que essa interligação for necessária ou recomendável;
- O condutor neutro de alimentação elétrica, salvo se não existente ou se a edificação tiver que ser alimentada, por qualquer motivo, em esquema TT ou IT;
- Os condutores de proteção principais de instalação elétrica interna da edificação.

Tratando da estrutura metálica atuando como SPDA, temos inicialmente os captos naturais, que são elementos condutores naturalmente expostos, que do ponto de vista físico

possam ser atingidos pelos raios, devendo ser parte integrante do SPDA. Dessa forma, os captadores naturais devem satisfazer às seguintes condições:

- A espessura do elemento metálico não deve ser inferior a 0,5 mm, quando for necessário prevenir contra perturbações ou pontos quentes no volume a proteger;
- A espessura do elemento metálico pode ser inferior a 2,5 mm, quando não for importante prevenir contra perfurações ou ignição de materiais combustíveis no volume a proteger;
- O elemento metálico não deve ser revestido de material isolante (não se considera isolante uma camada de pintura de proteção, ou 0,5 mm de asfalto, ou 1 mm de PVC);
- A continuidade elétrica entre as diversas partes deve ser executada de modo que assegure durabilidade;

Outro item importante no SPDA é o condutor de descida natural, a ser representado pelas estruturas metálicas de torres, postes e mastros, assim como as armaduras de aço interligadas de postes de concreto, os pilares metálicos da estrutura de uma edificação, constituindo assim, as descidas naturais até a base do SPDA, dispensando a necessidade de condutores de descida paralelos ao longo da sua extensão. Em uma edificação, temos os seguintes itens atuando como condutores de descida natural:

- Os pilares metálicos da estrutura podem ser utilizados como condutores de descida naturais;
- Os elementos de fachada (perfis e suportes metálicos) poderão ser utilizados como condutores de descidas naturais, desde que suas seções sejam no mínimo iguais às especificadas para os condutores de descida não naturais e com a sua continuidade elétrica no sentido vertical no mínimo equivalente. Em alternativa, admite-se um afastamento não superior a 1 mm entre as superfícies sobrepostas de condutores consecutivos, desde que com área não inferior a 100cm<sup>2</sup>.

- As instalações metálicas da estrutura podem ser consideradas condutores de descida naturais (inclusive quando revestidas por material isolante), desde que suas seções sejam no mínimo iguais às especificadas para condutores de descida e com continuidade elétrica no sentido vertical no mínimo equivalente;
- As tubulações metálicas (exceto gás) podem ser admitidas como condutores de descida naturais, desde que seu trajeto satisfaça às prescrições de seção e que sua continuidade não possa ser afetada por modificações posteriores ou por serviços de manutenção;
- As armaduras de aço interligadas das estruturas de concreto armado podem ser consideradas condutores de descida naturais, desde que 50% dos cruzamentos de barras da armadura, incluindo os estribos, estejam firmemente amarradas com arame de aço torcido e as barras na região de trespasse apresentem comprimento de sobreposição de no mínimo 20 diâmetros, igualmente amarradas com arame de aço torcido ou soldadas, ou interligadas por conexão mecânica adequada.

Para as edificações de concreto armado existentes, onde as armaduras de concreto são utilizadas como descidas, devem ser realizados testes de continuidade e estes devem resultar em resistências medidas inferiores a 1 ohm. As medições deverão ser realizadas entre o topo e base de alguns pilares e também entre as armaduras de pilares diferentes, para averiguar a continuidade através de vigas e lajes. As equalizações de potenciais internos à estrutura devem ser observadas, o que significa que próximo ao solo e no máximo, a cada 20 metros de altura, todas as massas metálicas (tubulações, esquadrias metálicas, trilhos) deverão ser ligadas diretamente a uma armadura local (de pilar, vigas ou laje). Os sistemas elétricos de potência e de sinal deverão ser referenciados a um barramento de equalização, o qual deverá ser ligado a uma armadura local e ao eletrodo de aterramento.

Os eletrodos de aterramento naturais são constituídos pelas armaduras de aço embutidas nas fundações das estruturas, onde devem ser observadas às seguintes condições:

- As armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e das vigas baldrame devem ser firmemente amarradas com arame recozido em cerca de 50% de seus cruzamentos ou soldadas. As barras horizontais devem ser sobrepostas por no mínimo 20 vezes o seu diâmetro, e firmemente amarradas com arame recozido ou soldadas;
- Em fundação de alvenaria pode-se utilizar como eletrodo de aterramento, pela fundação, uma barra de aço de construção, com diâmetro mínimo de 8 mm, ou uma fita de aço de 25mm x 4mm, disposta com a largura na posição vertical, formando um anel em todo o perímetro da estrutura. A camada de concreto que envolve estes eletrodos deve ter uma espessura mínima de 5cm;
- As armaduras de aço das fundações devem ser interligadas com as armaduras de aço dos pilares da estrutura, utilizados como condutores de descida naturais, de modo a assegurar a continuidade elétrica.
- O eletrodo de aterramento natural assim constituído deve ser conectado à ligação equipotencial, através de uma barra de aço com diâmetro mínimo de 8 mm ou uma fita de aço de 25mm x 4mm. Em alternativa, a ligação equipotencial principal deve simplesmente ser aterrada a uma armação de concreto armado próxima, quando estas são constituintes do SPDA;
- No caso de se utilizarem as armaduras como constituintes do SPDA, sempre que possível, deve ser prevista a avaliação do aterramento da edificação, por injeção de corrente através da terra, entre a barra BEP, desligada da alimentação exterior, e um eletrodo externo ao edifício;
- Além da verificação do aterramento, se a execução da construção não tiver sido acompanhada pelo responsável pelo aterramento, deverá fazer-se a verificação da continuidade elétrica das armaduras, por injeção de corrente entre pontos afastados tanto na vertical como na horizontal. Os valores de impedância medidos costumam-se situar entre alguns centésimos e poucos décimos de ohm.

Caso se observe atentamente os itens citados, os sistemas de aterramento e SPDA constituídos pelas estruturas metálicas das edificações apresentarão níveis de eficiência e confiabilidade bastante satisfatórios. Deve-se afirmar que essa tecnologia ainda é pouco utilizada, apesar das recomendações da ABNT no sentido da migração dos sistemas atuais para os sistemas SPDA e aterramento utilizando as estruturas metálicas das edificações.

## 5.2 – Re-Bar (Reinforcing bars)

A norma NBR 5419/2005 trata, em seu anexo D (normativo), do uso opcional de ferragem específica em estruturas de concreto armado, dedicada exclusivamente ao papel de condução dos raios até o aterramento e desempenhando a função de condutores de descida e aterramento. Analogamente ao uso das estruturas metálicas das edificações como sistema de aterramento e SPDA, deverão ser atendidos os seguintes requisitos na utilização da re-bar, quanto ao aterramento e as descidas:

Como aterramentos das fundações, deverão ser atendidos os seguintes requisitos:

- Para as edificações novas, em concreto armado, onde a estrutura ainda não foi iniciada, deve ser instalado um condutor adicional de aço comum ou galvanizado a quente, dentro da estrutura, de modo a garantir a continuidade desde as fundações até o topo do prédio;
- O condutor adicional deverá ser instalado dentro das fundações, atravessar os blocos de fundação e entrar nos pilares do concreto;
- Os condutores deverão ser emendados por conectores de aperto, solda elétrica ou exotérmica, desde que executada de forma duradora, obedecendo (quando amarradas com arame de aço recozido ou conectores) a um trespasse de 20 diâmetros da barra;
- Em fundação direta (pouco profunda), os condutores adicionais devem ser instalados nas vigas baldrame de modo a melhorar a condição de drenagem e o contato com o solo;

Como condutores de descida, deverão ser atendidos os seguintes requisitos:

- Em cada pilar estrutural deverá ser instalado um condutor adicional (cabo galvanizado, barra chata ou redonda de aço) paralelamente às barras estruturais e amarrando com arame nos cruzamento com os estribos para assegurar a equipotencialização;
- Nos locais onde haja deslocamento da posição dos pilares, ao mudar a laje, bem quando houver redução da seção dos pilares, o condutor adicional deverá ser encaminhado de modo a garantir a continuidade elétrica;
- Armaduras de aço dos pilares, lajes e vigas devem ter cerca de 50% de seus cruzamentos firmemente amarrados com arame recozido ou soldados. As barras horizontais das vigas externas devem ser soldadas, ou sobrepostas por no mínimo 20 vezes o seu diâmetro, firmemente amarradas com arame recozido de forma a garantir a equalização de potenciais da estrutura.

### **5.3 – Ensaio de continuidade das armaduras**

A norma NBR 5419/2005 trata, em seu anexo E (normativo), do ensaio de continuidade das armaduras, onde deverão ser efetuadas medições capazes de determinar a resistência das armaduras, bem como avaliar se a continuidade das estruturas metálicas está de acordo com a norma NBR 5419/2005. Dessa forma, deverão ser adotados os seguintes procedimentos:

- O ensaio de verificação da continuidade das armaduras de um edifício deve ser feito por injeção de corrente. Para melhorar a precisão da medição e diminuir os cuidados necessários para executar uma medição confiável, é preferível dispor de uma máquina de solda, do tipo de transformador monofásico de enrolamentos separados, com tensão em

circuito aberto da ordem de 60 V e capaz de injetar uma corrente de 100 A. Estas características diminuem a exigência de limpeza da superfície onde se faz a injeção de corrente;

- A impedância entre dois pontos é medida dividindo a tensão aplicada entre os pontos de injeção de corrente pela corrente injetada. Considerando o valor elevado da corrente injetada e o comprimento apreciável do condutor de injeção de corrente, a tensão entre pontos de injeção de corrente deve ser calculada diminuindo a queda de tensão no condutor de injeção de corrente, da tensão aplicada ao circuito completo. Numa primeira aproximação pode considerar-se apenas a queda de tensão ôhmica no condutor de injeção;
- O afastamento dos pontos onde se faz a injeção de corrente deve ser de dezenas de metros, por exemplo, entre o piso térreo e a laje do último piso ou entre a fachada da frente e a dos fundos, de preferência na diagonal. Procedendo as diversas medições entre pontos diferentes, se os valores medidos forem da mesma ordem de grandeza inferiores a  $1,0\Omega$ , pode-se admitir que a continuidade das armaduras seja aceitável;
- A medição pode ser feita diretamente com o uso de um mili ou microohmímetro, capaz de fornecer corrente da ordem de 10A, sendo admissível o valor mínimo de 1,0A. Não é admissível a utilização de multímetro.

# 6. DETALHES EXECUTIVOS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS DAS EDIFICAÇÕES COMO SPDA E ATERRAMENTO

Neste tópico, serão apresentados os detalhamentos executivos das estruturas metálicas atuando como sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e como sistemas de aterramento. Deve-se destacar que o nível de detalhamento a ser apresentado pode apresentar alterações decorrentes das peculiaridades de cada projeto, sem desprezar, a observância aos requisitos mínimos exigidos pelas normas NBR 5410/2004 e NBR 5419/2005. Dessa forma, é imprescindível aos projetistas o conhecimento das normas e, por conseguinte, sua aplicabilidade em obras distintas, respeitadas a praticidade e a especificidade de uma dada construção. Na gravura 6.1, é apresentado o detalhamento executivo da interligação da estrutura metálica na ferragem adicional da viga baldrame, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

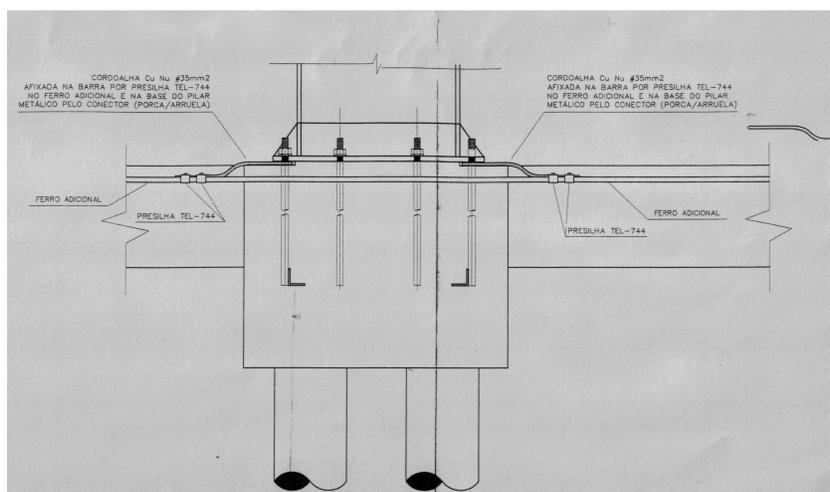


Figura 6.1: Detalhe Interligação da Estrutura Metálica, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.2, é apresentado o detalhamento executivo da caixa para terra, com função de ponto de inspeção para o sistema de aterramento, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

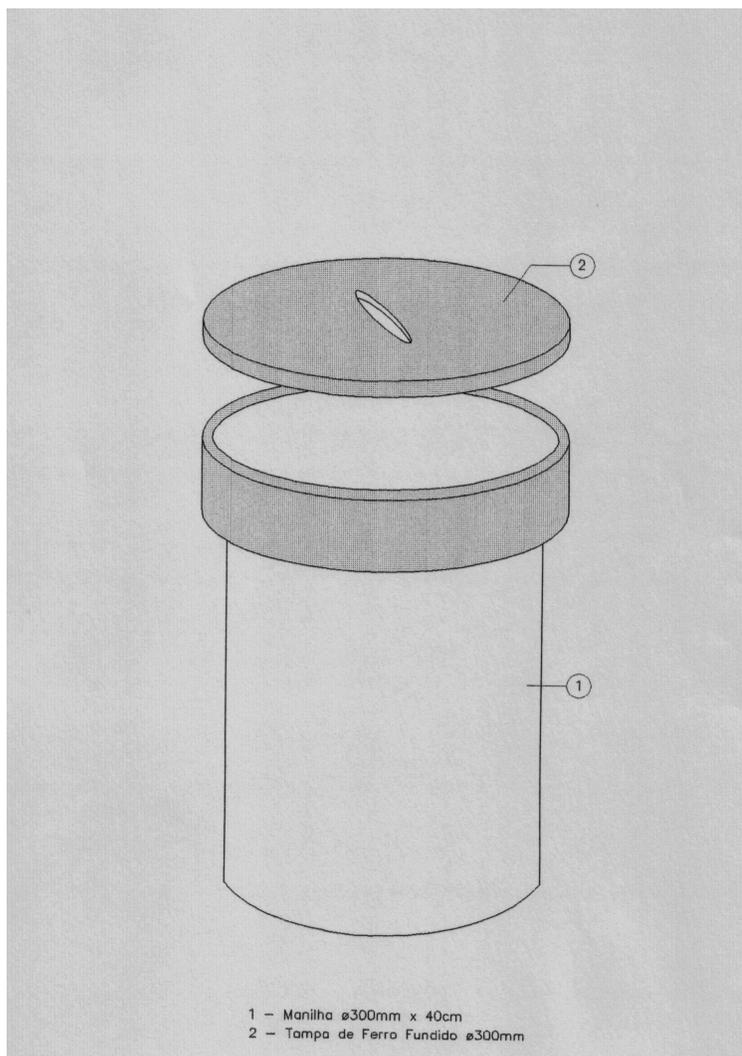


Figura 6.2: Detalhe Caixa para Terra, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.3, é apresentado o detalhamento executivo do ferro adicional no tubulão, com função de aterramento, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

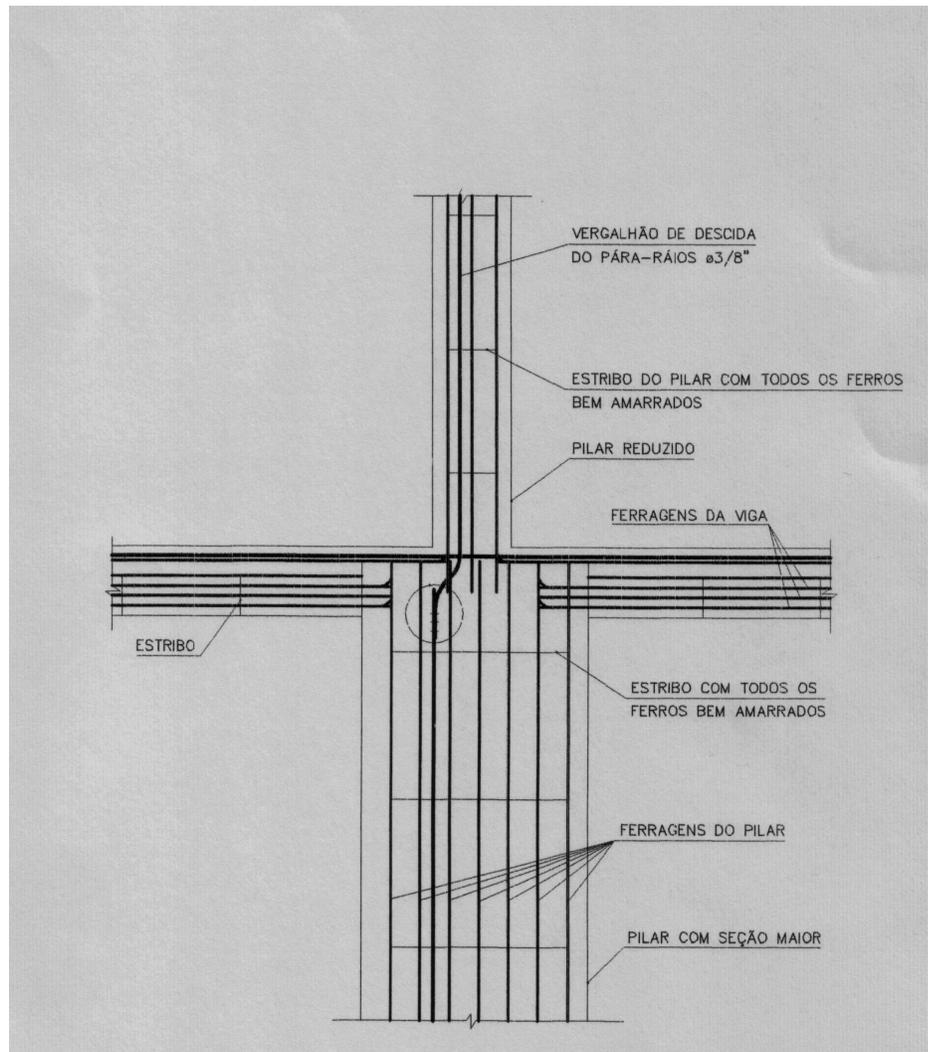


Figura 6.3: Detalhe Ferro Adicional no Tubulão, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.4, é apresentado o detalhamento executivo da interligação das descidas nos pilares na viga baldrame e a interligação do anel de aterramento na viga baldrame, com função de aterramento, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

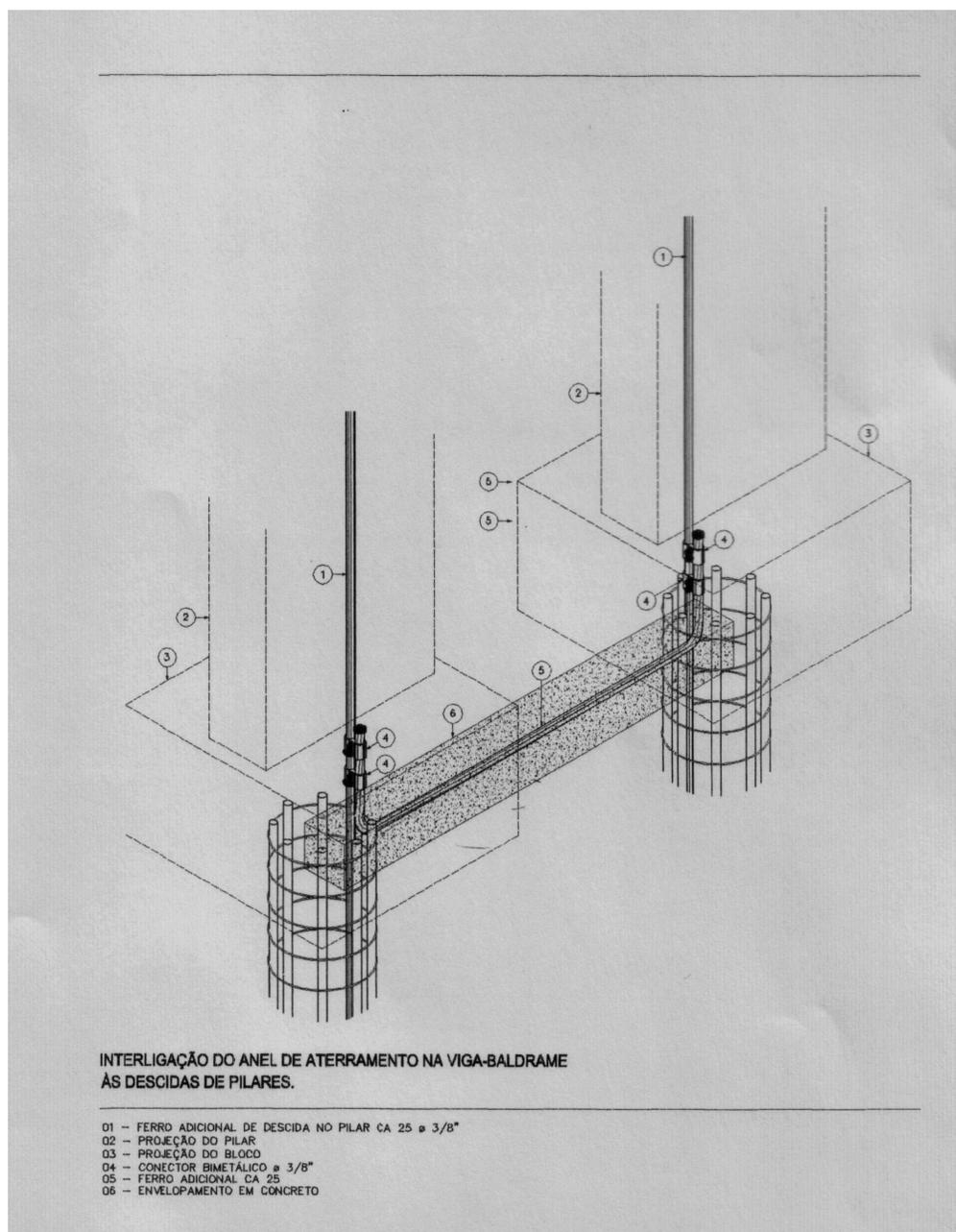


Figura 6.4: Detalhe Interligação das Descidas nos Pilares pela Viga Baldrame, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.5, é apresentado o detalhamento executivo da interligação das descidas nos pilares na viga baldrame, com função de aterramento, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

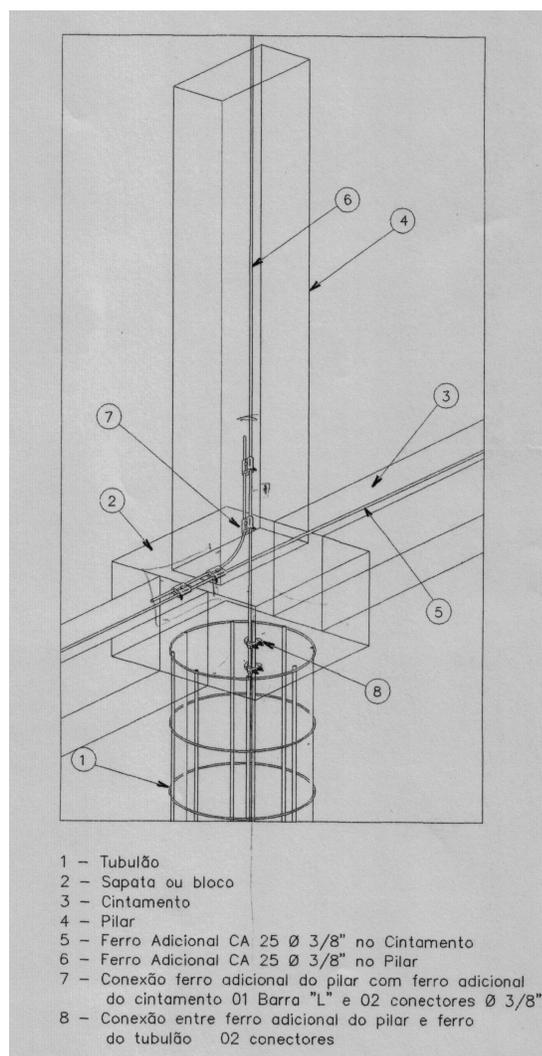


Figura 6.5: Detalhe Aterramento em Tubulão, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)



Na gravura 6.7, é apresentado o detalhamento executivo da interligação das descidas no pé do pilar e da solda no pé do pilar, com função de aterramento, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

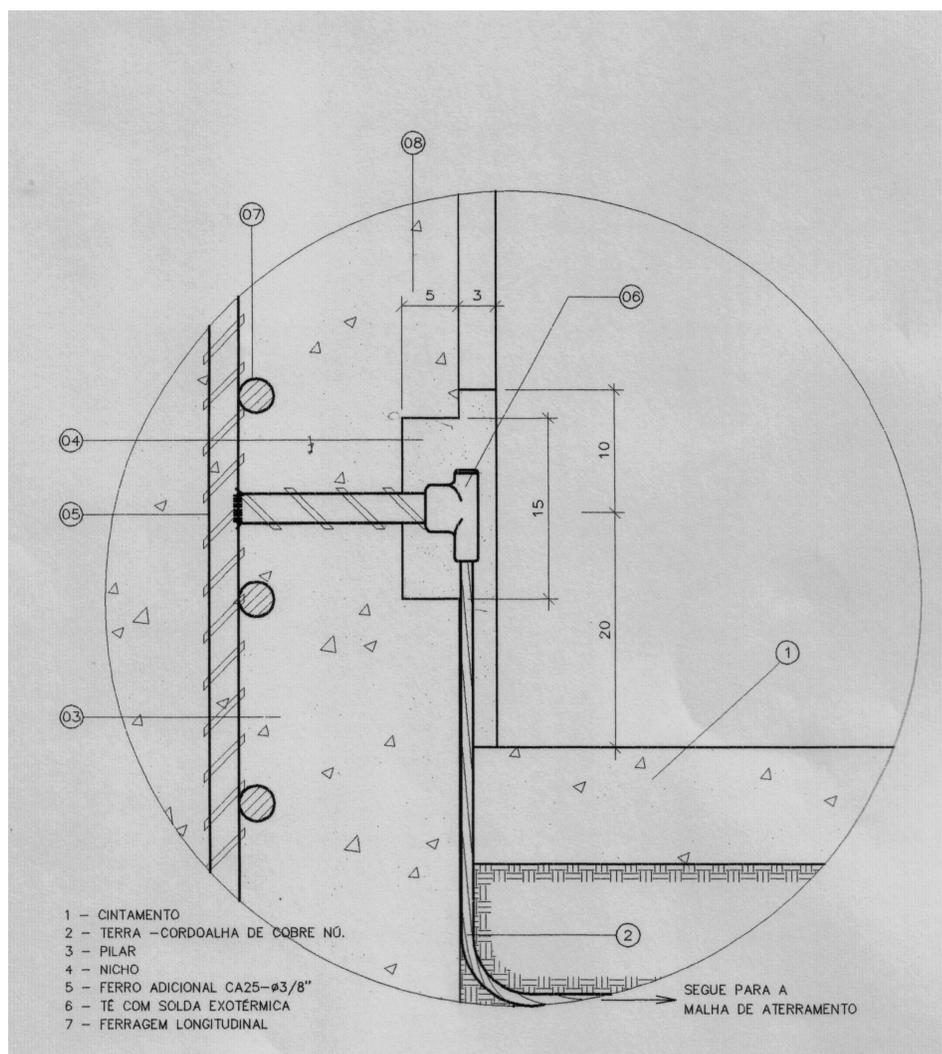


Figura 6.7: Detalhe Conexão no Pé do Pilar, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Nas gravuras 6.8 e 6.9, são apresentados os detalhamentos executivos da ferragem adicional no pilar e na viga baldrame, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

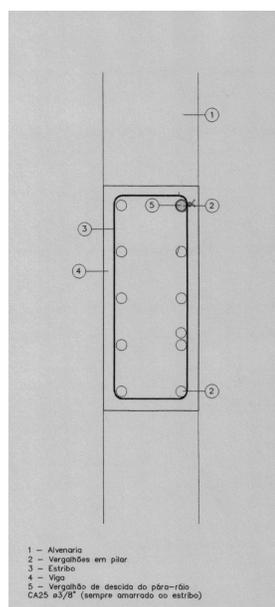


Figura 6.8: Detalhe Ferro Adicional no Pilar, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

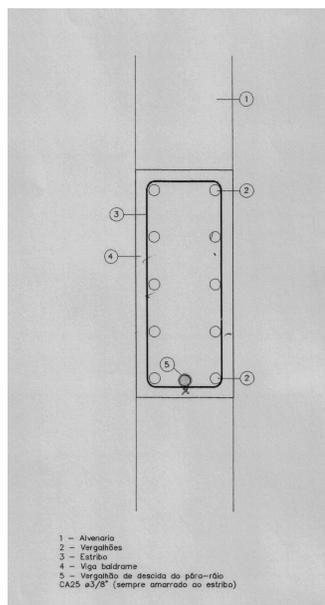


Figura 6.9: Detalhe Ferro Adicional na Viga Baldrame, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.10, é apresentado o detalhamento executivo da interligação do ferro adicional no pilar das descidas, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

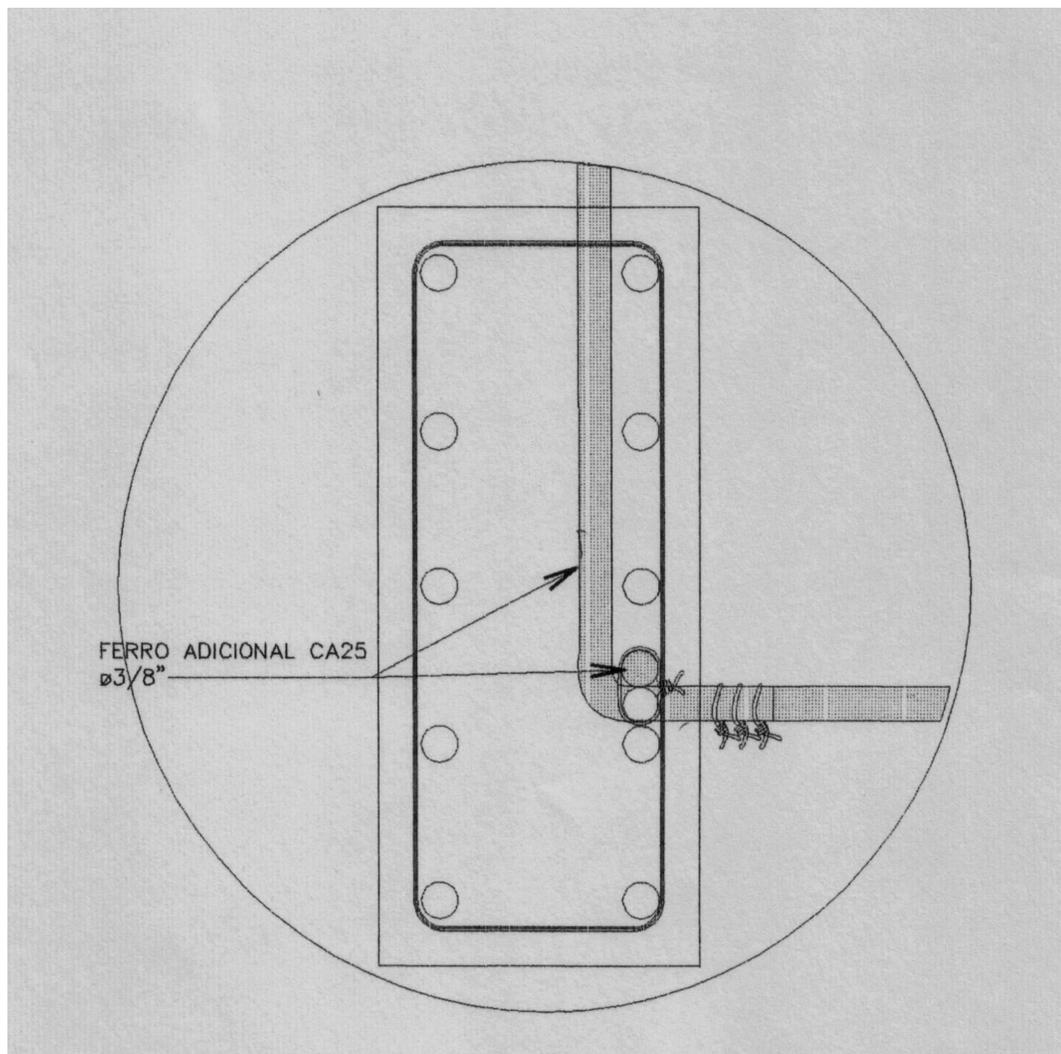


Figura 6.10: Detalhe Conexão do Ferro Adicional no Pilar, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.11, é apresentado o detalhamento executivo da interligação das ferragens das lajes com as ferragens dos pilares, onde 50% dos cruzamentos deverão ser firmemente amarados, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

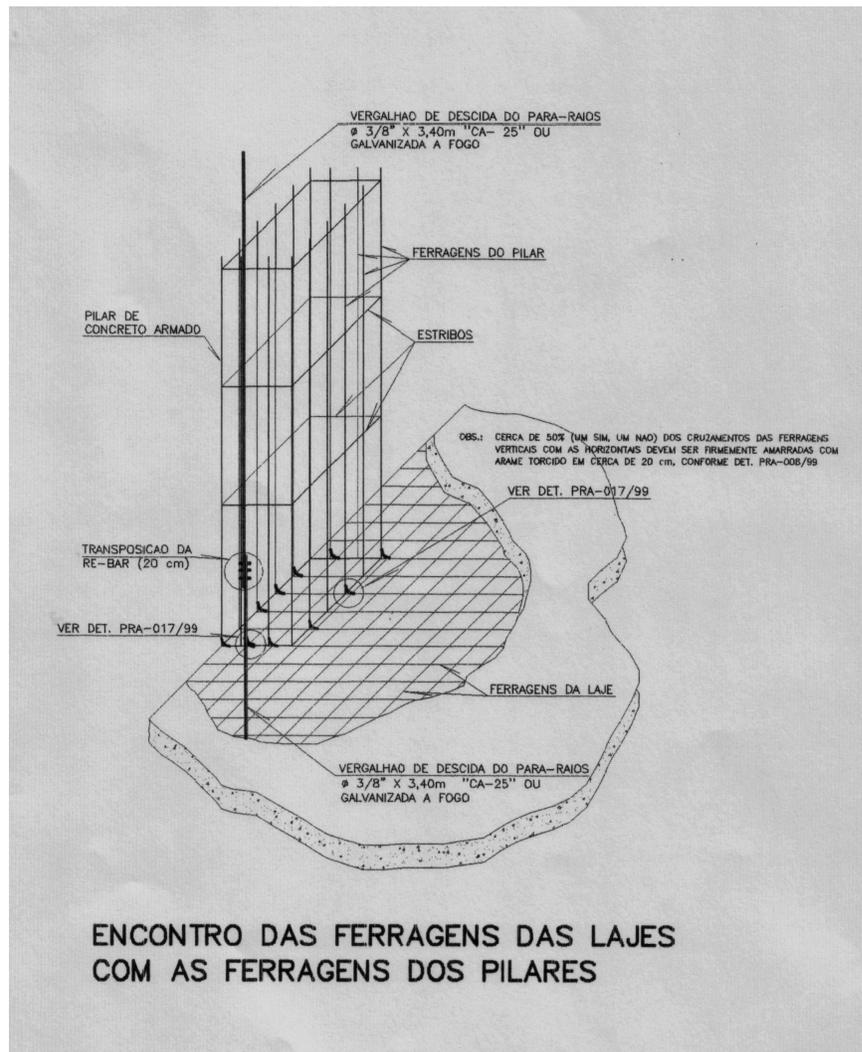


Figura 6.11: Detalhe Encontro das Ferragens das Lajes com os Pilares, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.12, é apresentado o detalhamento executivo da barra excedente de descida no pilar de pára-raio, com amarração a cada 20 metros, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

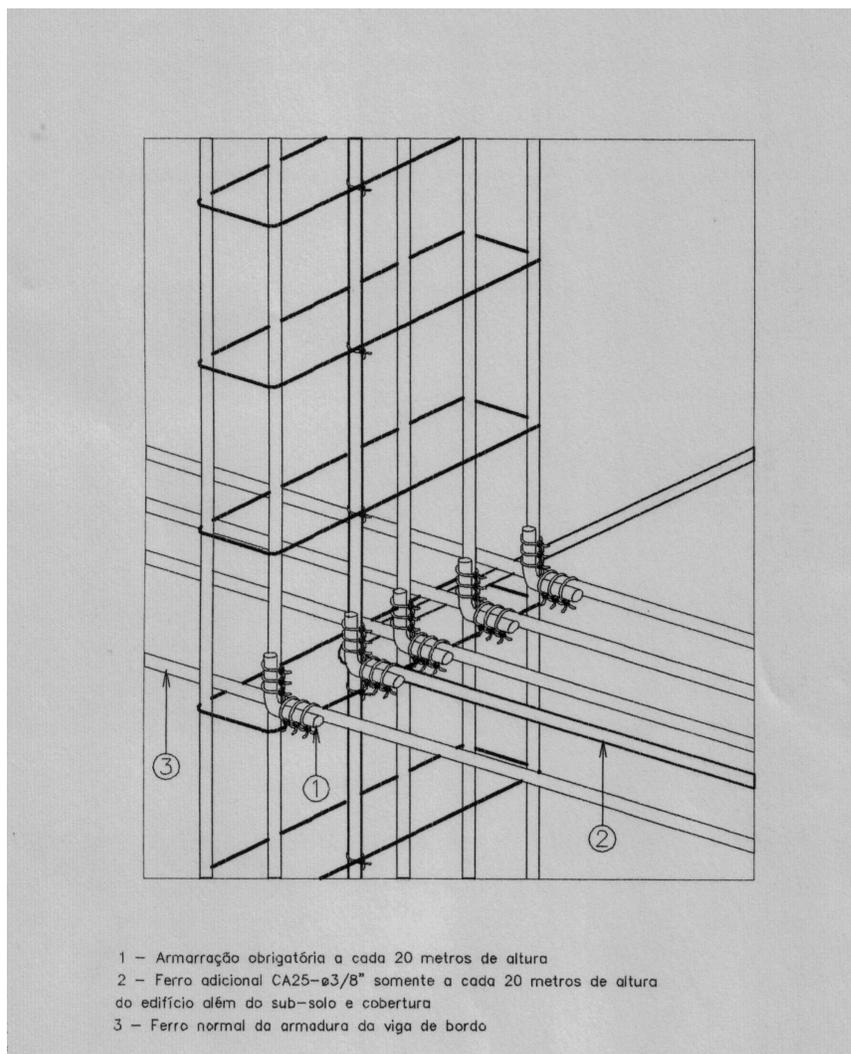


Figura 6.12: Detalhe Barra Excedente de Descida, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.13, é apresentado o detalhamento executivo da interligação do ferro adicional em pilar, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

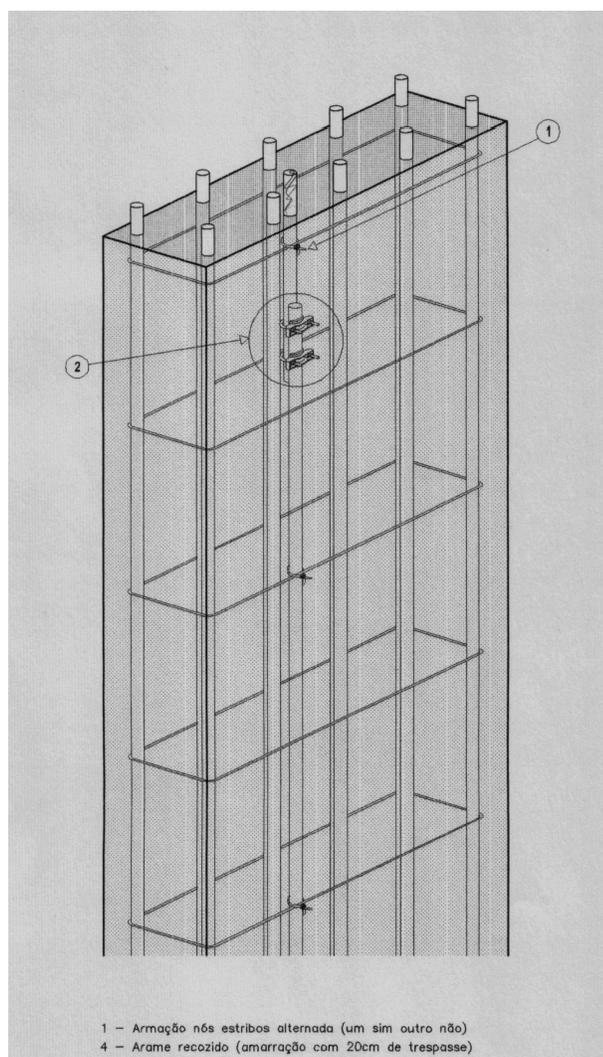


Figura 6.13: Detalhe Ferro Adicional em Pilar, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.14, é apresentado o detalhamento executivo da interligação dos pilares da junta de dilatação para a malha equipotencial, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

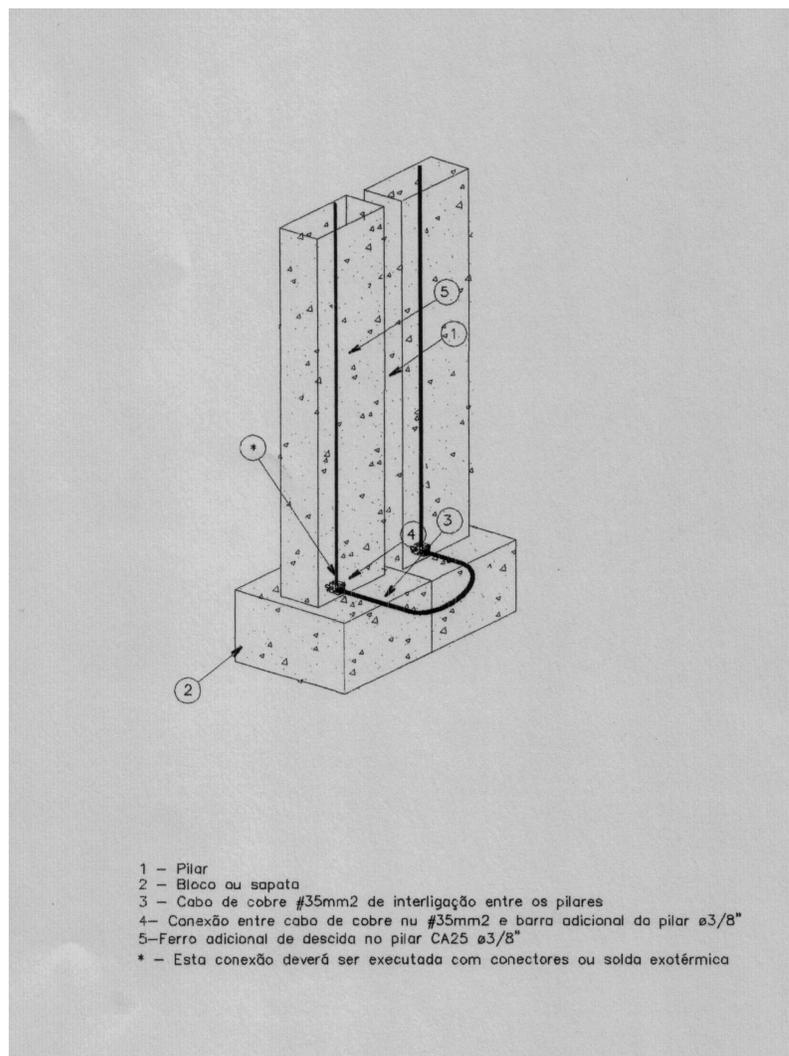


Figura 6.14: Interligação dos Pilares da Junta de Dilatação para Malha Equipotencial, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.15, é apresentado o detalhamento executivo da interligação dos pilares da junta de dilatação e do ferro adicional em pilar, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

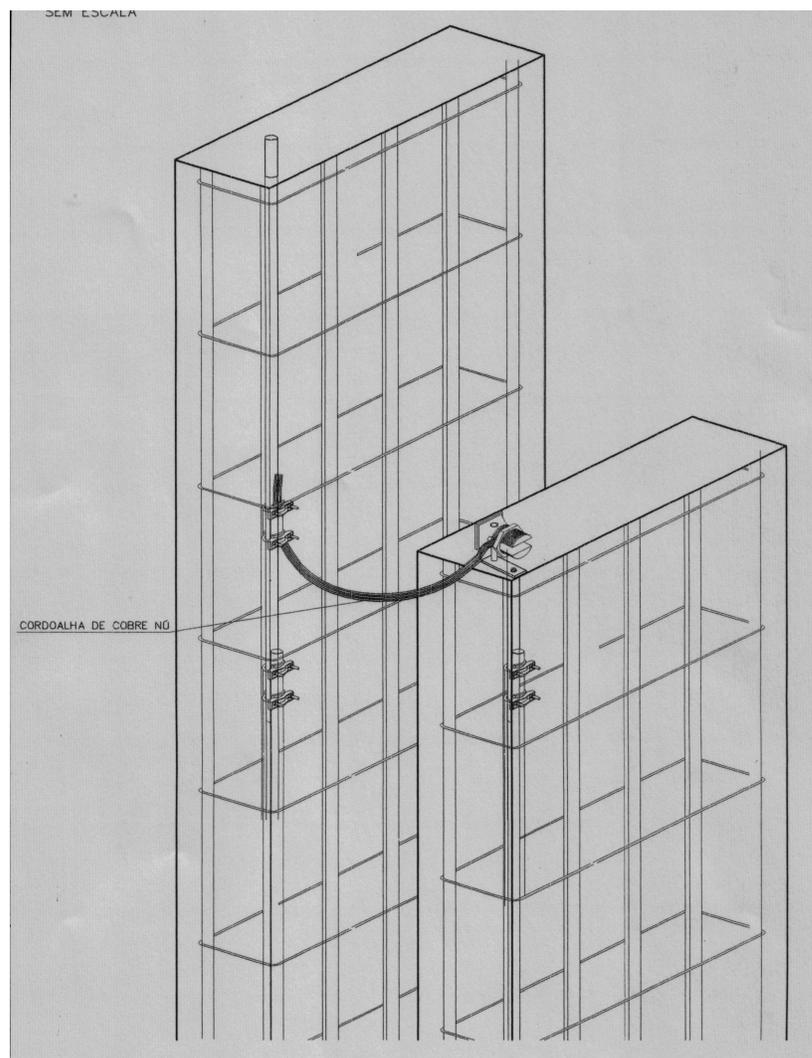


Figura 6.15: Detalhe Interligação dos Pilares da Junta de Dilatação, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.16, é apresentado o detalhamento executivo das opções de amarração, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

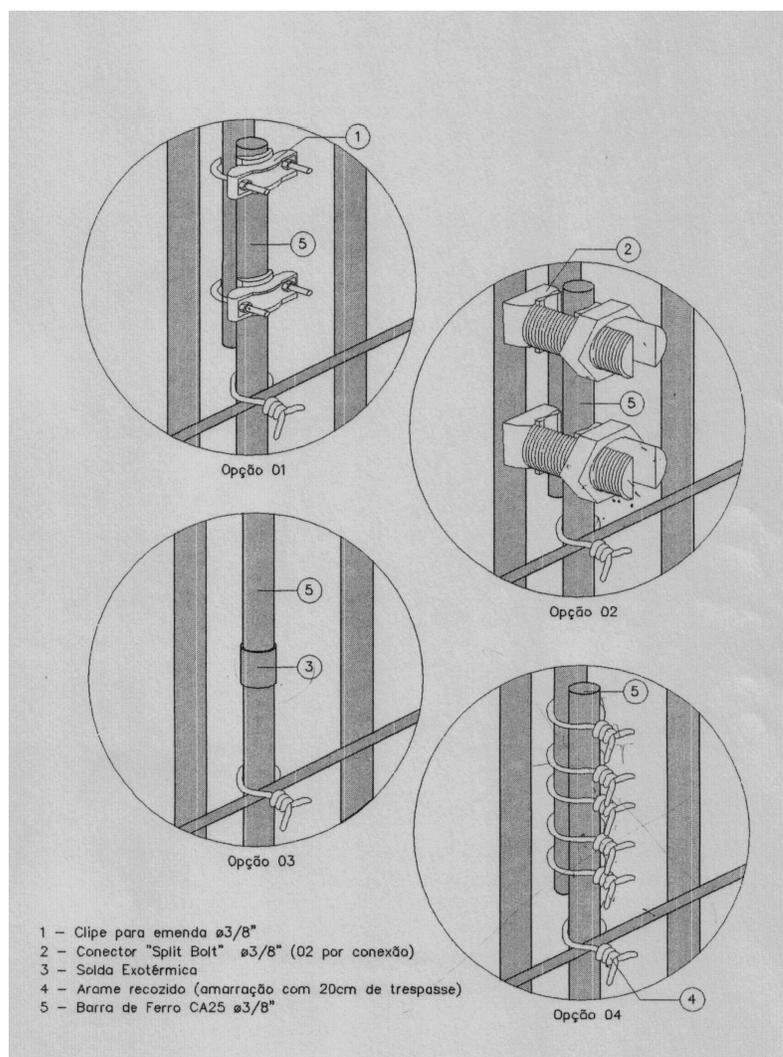


Figura 6.16: Detalhe Opções de Amarração, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.17, é apresentado o detalhamento executivo do terminal de medição dos alimentadores de equipotencial, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

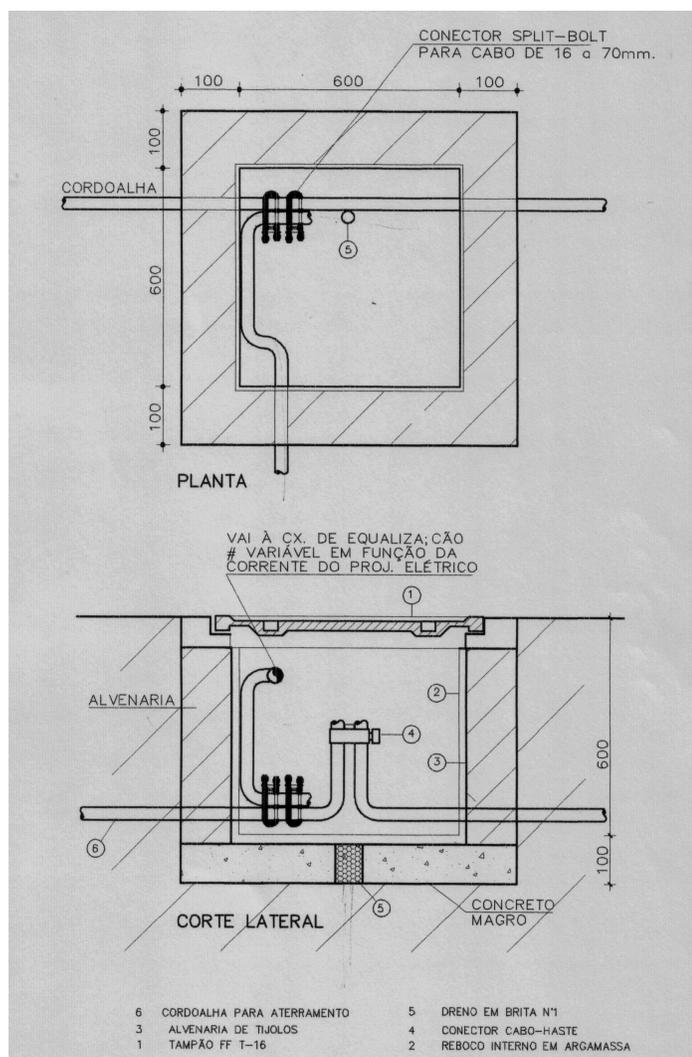


Figura 6.17: Detalhe Medição dos Alimentadores, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.18, é apresentado o detalhamento executivo do bloco de fixação para a base “A” (contraventagens) e fixação da base “B” (pára-raio e antenas), conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

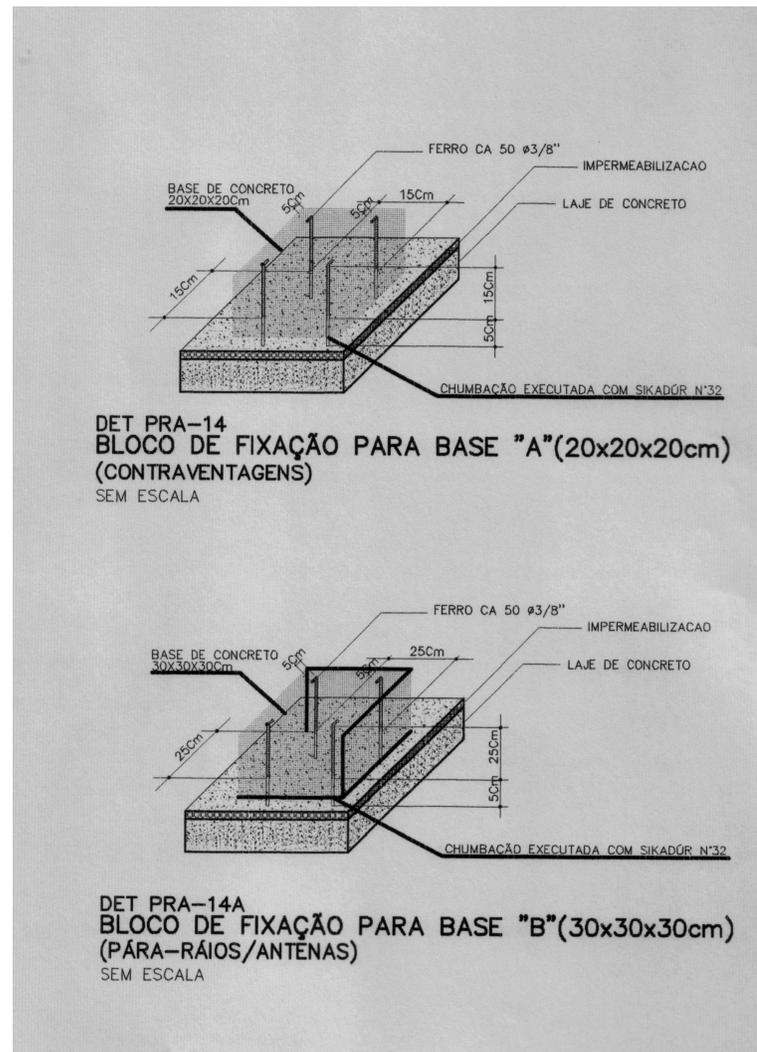


Figura 6.18: Detalhe Bloco de Fixação para Base, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.19, é apresentado o detalhamento executivo da caixa de medição equipotencial, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

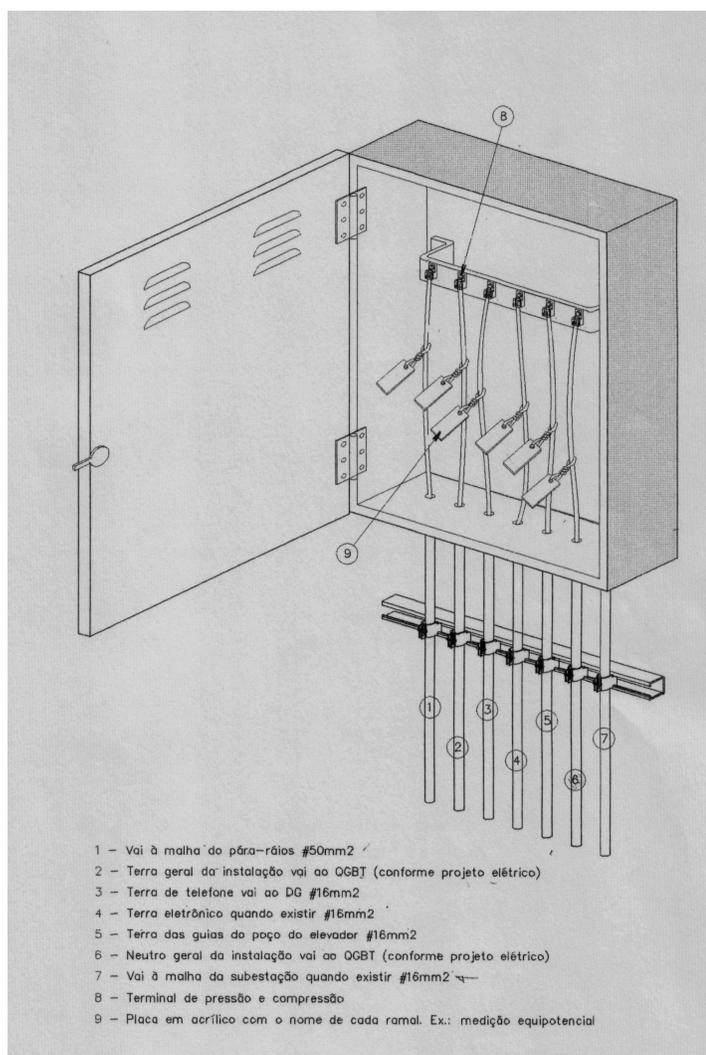


Figura 6.19: Detalhe Caixa para Medição Equipotencial, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.20, é apresentado o detalhamento executivo da Barra de Equipotencialização Principal (BEP) utilizando a caixa de medição equipotencial, conforme especificação da norma NBR 5410/2004.

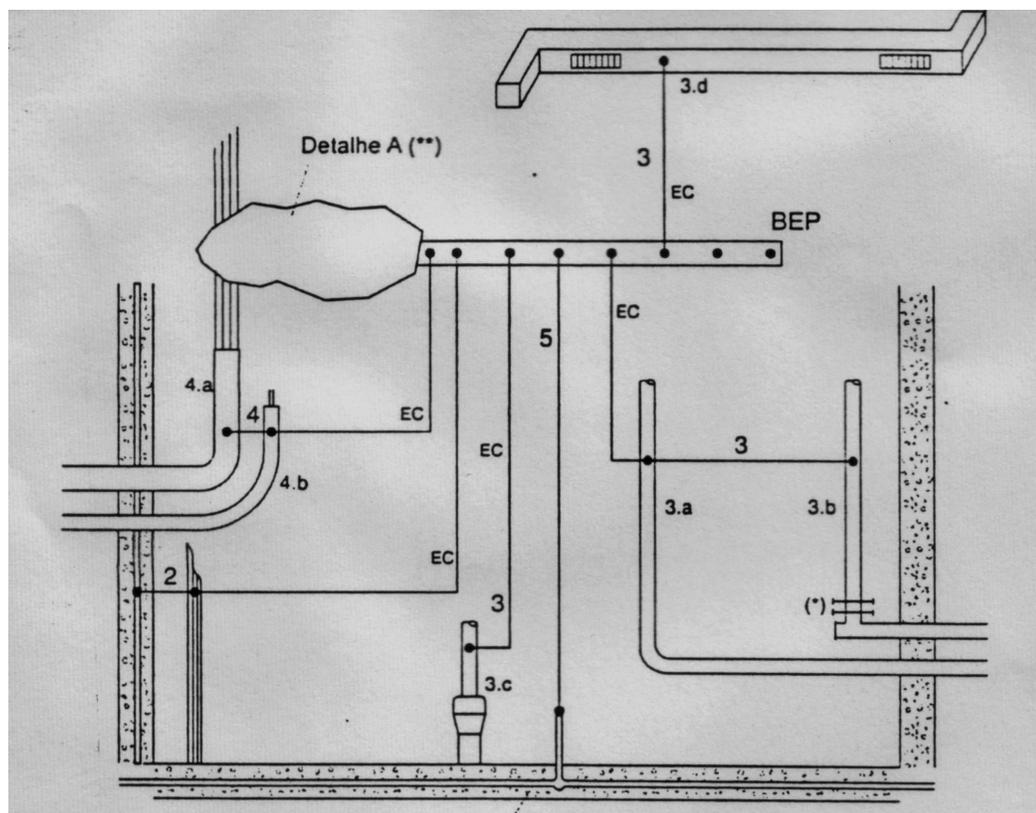


Figura 6.20: Detalhe Equipotencialização Principal, Fonte: NBR 5410, (2004)

Na gravura 6.21, é apresentado o detalhamento executivo do aterramento da guia do elevador, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

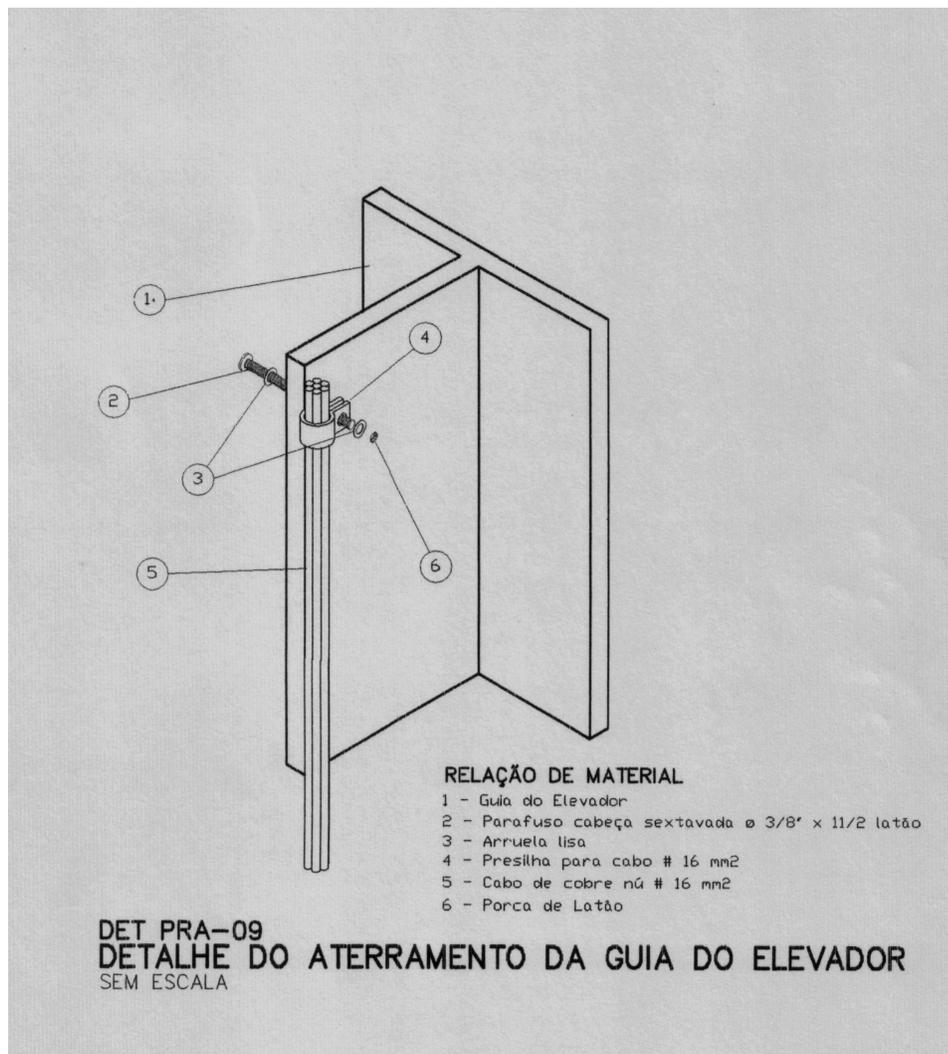


Figura 6.21: Detalhe do Aterramento da Guia do Elevador, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)



Na gravura 6.23, é apresentado o detalhamento executivo da barra adicional do anel da viga de contorno e da platibanda da cobertura, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

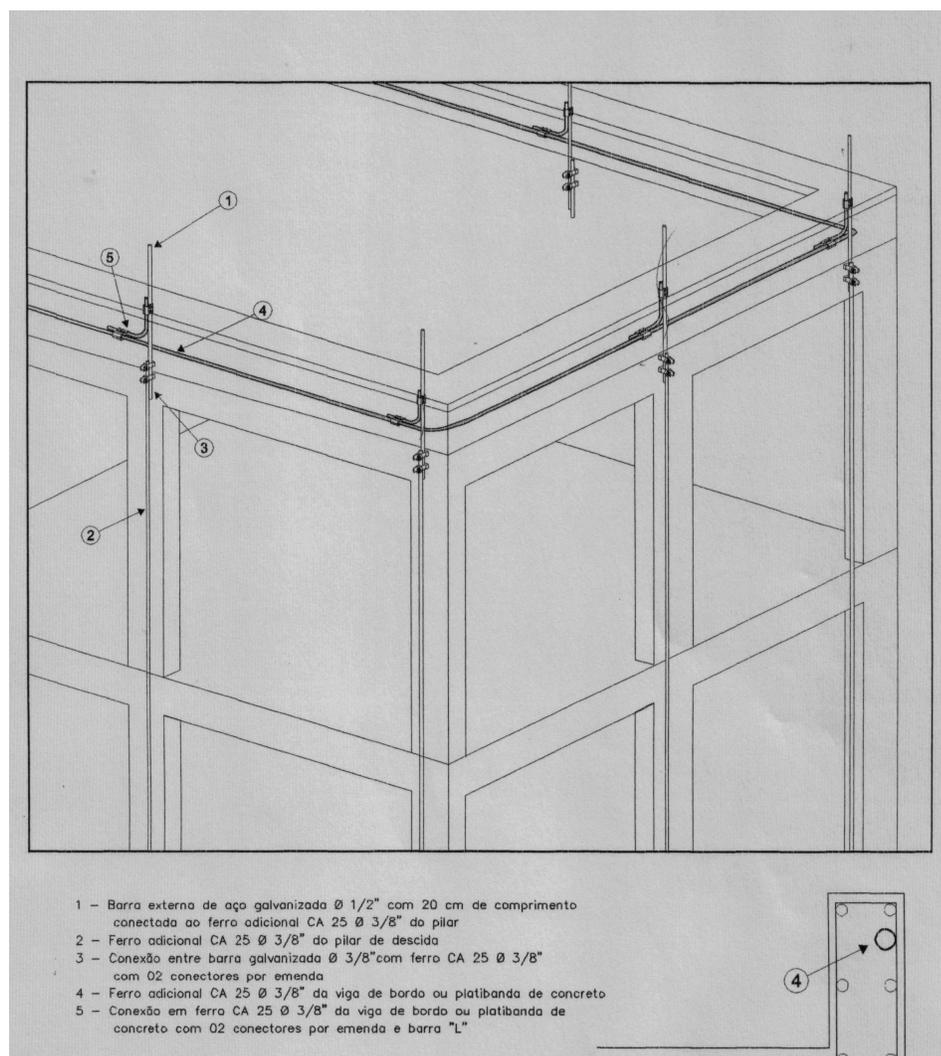


Figura 6.23: Detalhe Platibanda da Cobertura, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.24, é apresentado o detalhamento executivo da barra adicional do anel da viga de contorno, da platibanda da cobertura e do terminal aéreo de captação, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

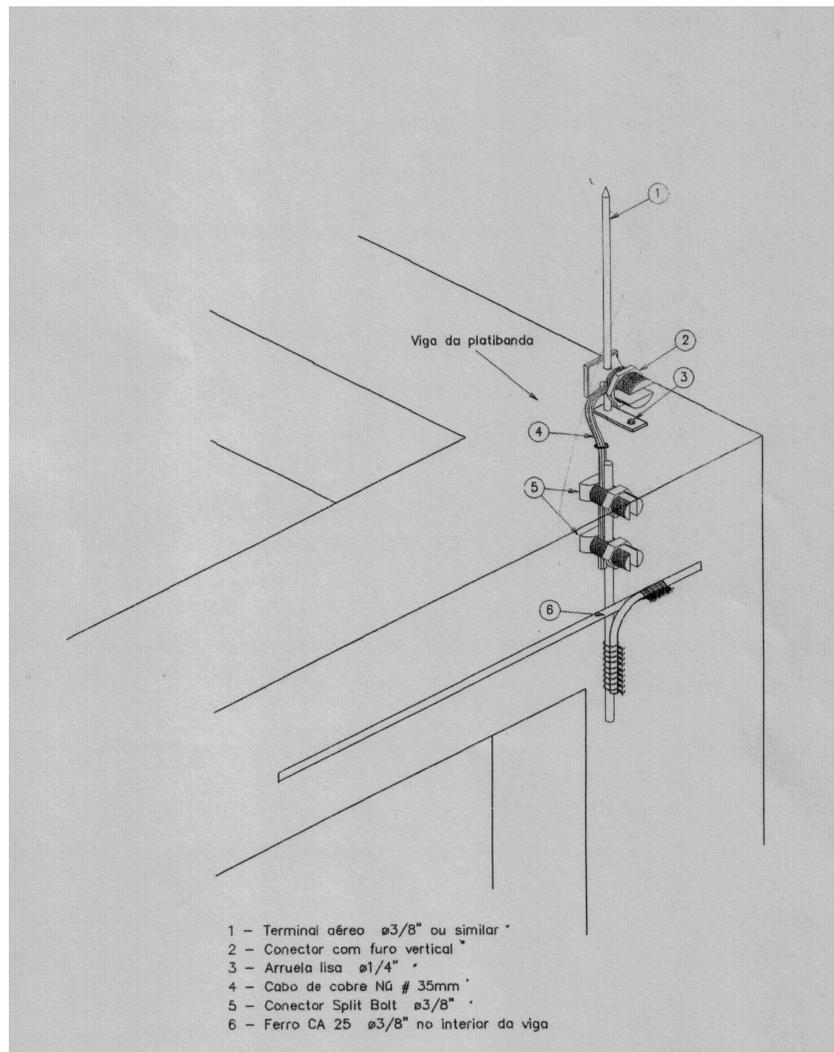


Figura 6.24: Detalhe Platibanda e Terminal Aéreo, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.25, é apresentado o detalhamento executivo da interligação da cordoalha de aterramento e equipotencialização ao rufo metálico, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

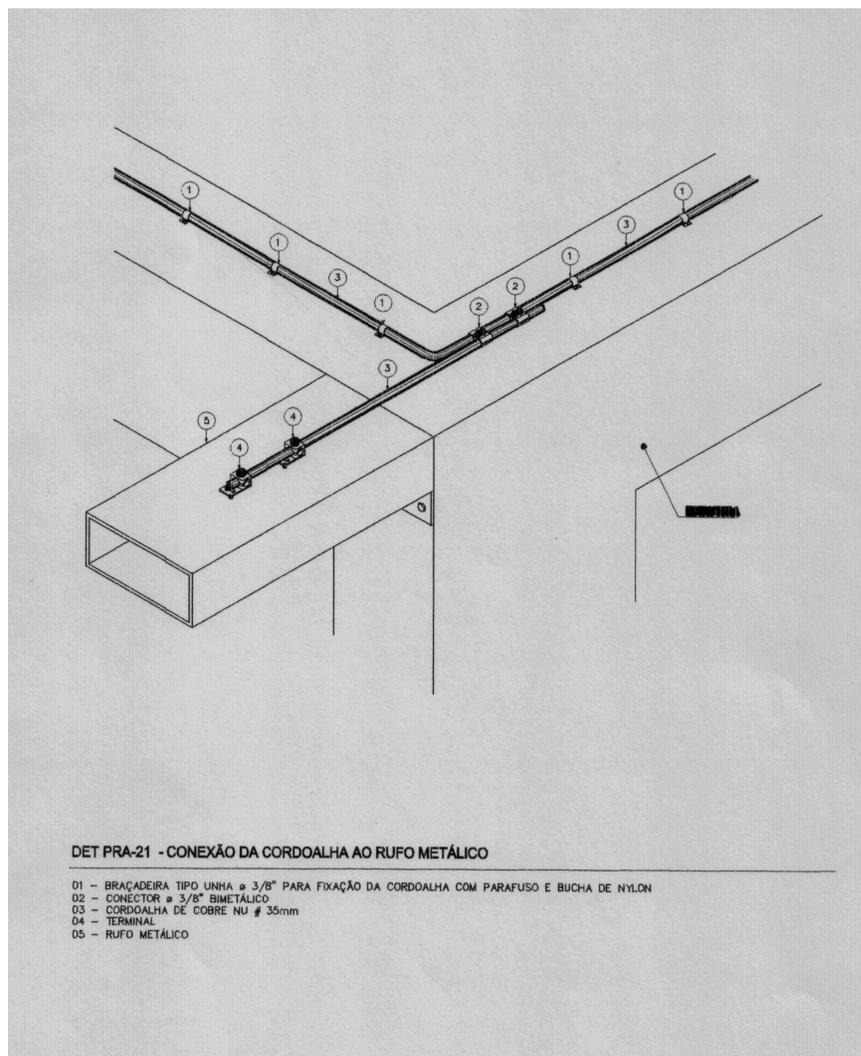


Figura 6.25: Detalhe Interligação da Cordoalha ao Rufo Metálico, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.25, é apresentado o detalhamento executivo da interligação da ferragem ao rufo metálico, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

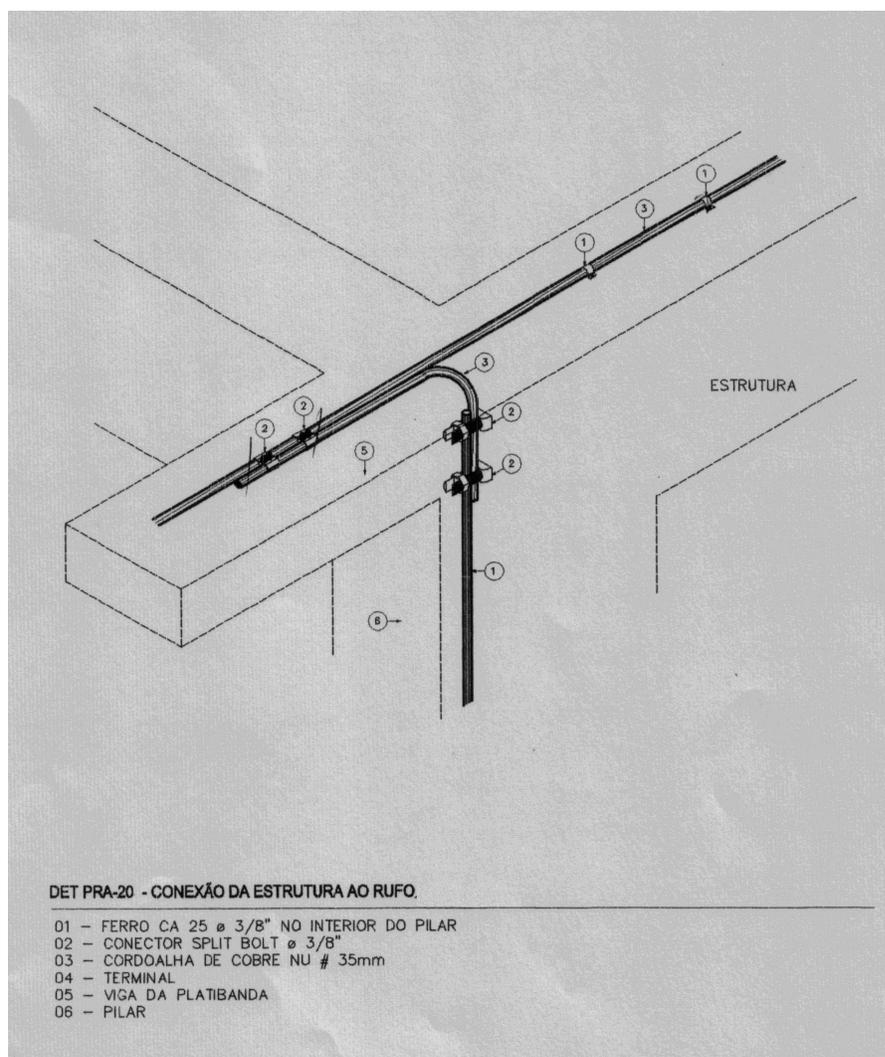


Figura 6.26: Detalhe Interligação da Ferragem ao Rufo Metálico, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.27, é apresentado o detalhamento executivo do aterramento da antena coletiva de televisão, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

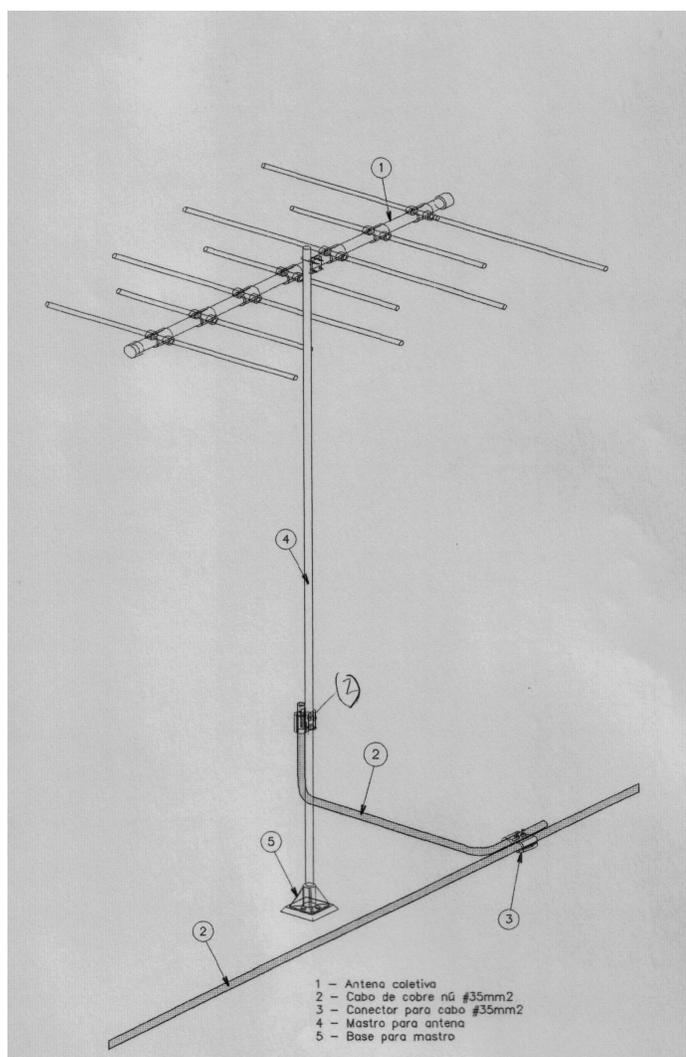


Figura 6.27: Detalhe Antena Coletiva, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.28, é apresentado o detalhamento executivo da interligação da cordoalha de aterramento e equipotencialização em telha metálica ou fibro-cimento, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

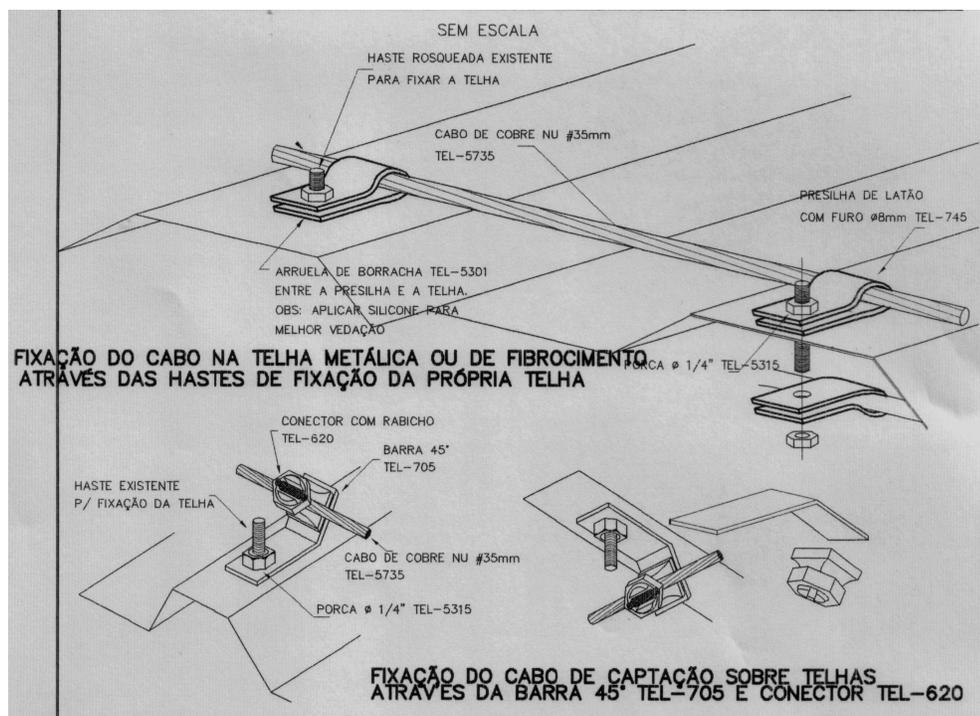


Figura 6.28: Interligação da Cordoalha em Telha Metálica ou Fibro-Cimento, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

Na gravura 6.29, é apresentado o detalhamento executivo do pára-raios tipo Franklin, conforme especificação da norma NBR 5419/2005.

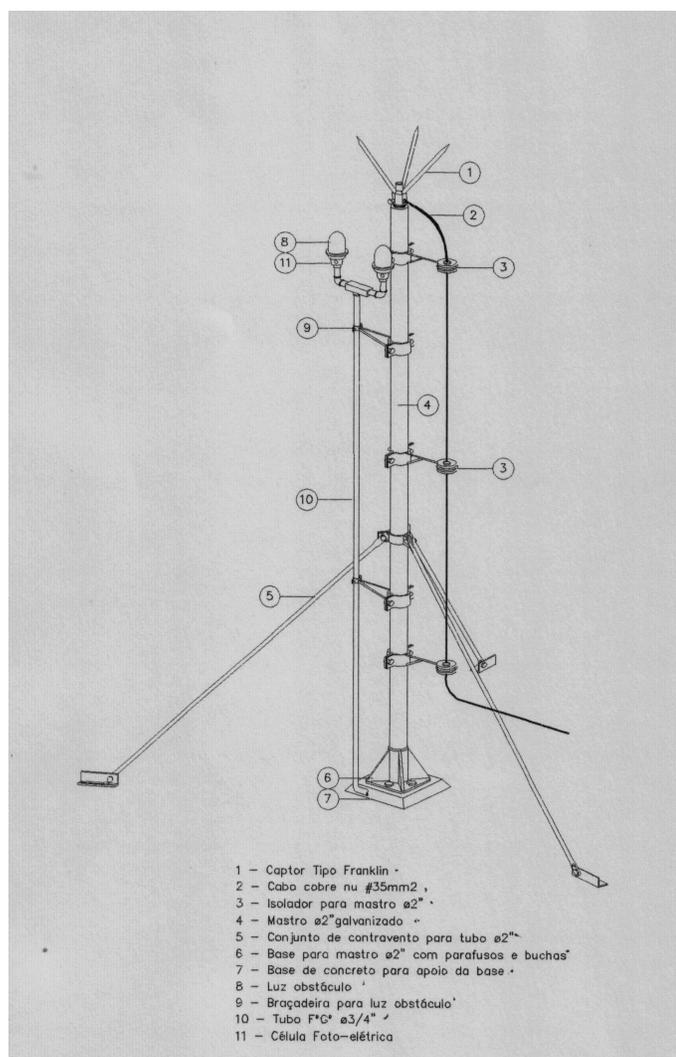


Figura 6.29: Detalhe Pára-Raios tipo Franklin, Fonte: Efatá Projetos Elétricos, (2006)

# 7 – RESTRIÇÕES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Como uma extensão natural do uso da estrutura metálica para captação, condução e dispersão da corrente dos raios no solo, técnica muito utilizada nos Estados Unidos, surgiu à idéia de se utilizar a ferragem do concreto armado com a mesma finalidade. Historicamente esse uso com finalidades elétricas, iniciou-se pelo uso das ferragens das fundações caso em que se obtém, em geral, uma resistência de terra suficientemente baixa. Como a experiência mostrou que os resultados estavam de acordo com as previsões, passou-se a cogitar a utilização das barras de reforço do concreto, as denominadas abreviadamente na literatura em língua inglesa, “re-bars” (reinforcing bars) também como captos e descidas. A resistência dos engenheiros civis ainda é em alguns países um obstáculo a ser superado para a implantação plena dessa tecnologia. Com essa técnica, a armação metálica do concreto passa a ser uma primeira blindagem, a ser considerada na proteção topológica.

## 7.1 – Concreto Armado

### 7.1.1 – Os possíveis riscos

Quando cai um raio sobre um prédio, as correntes que vão passar pelo primeiro condutor atingido, o captor ou descida (no caso de descarga lateral em prédios altos) serão da ordem de dezenas ou centenas de kA, com duração total de ms e com frequências elevadas, com componentes de dezenas de kHz até alguns MHz, podendo-se pensar nos seguintes efeitos:

- Aquecimento das barras;
- Arcos elétricos nas junções das barras;
- Efeito peculiar.

Esses efeitos preocupam os engenheiros civis, pois qualquer um deles, individualmente, poderia prejudicar a resistência do conjunto concreto-aço, que depende em alto nível da aderência de um elemento ao outro.

### 7.1.2 – O aquecimento das barras

No caso das correntes do raio, o aquecimento medido pelo efeito Joule é muito pequeno, já que resistência é da ordem de  $m\Omega$ , o tempo é da ordem de ms e mesmo considerando os mais altos valores de corrente (200 – 250kA), resultará um valor final para o aquecimento muito baixo em relação ao suportável pelo concreto armado. Se a ferragem for utilizada também para escoar correntes de curto circuito, poderia existir risco, pois o tempo passaria a ser bem maior e com uma corrente de 10 ou 20 kA passando por 1 a 5 segundos, a elevação da temperatura pode provocar o destacamento da barra em relação ao concreto. Para que a corrente de curto-circuito possa escoar pela ferragem sem danificar o concreto é necessário que se faça uma avaliação desse aquecimento e que as conexões sejam bem firmes, de preferência com conectores de aperto ou solda.

Se quisermos utilizar a ferragem do concreto para as duas finalidades, deve-se estabelecer uma barra para a ligação ao sistema de força ao qual deveriam estar conectadas firmemente várias barras de reforço e, com essa divisão da corrente, evitaríamos aquecimentos indesejáveis (superiores a 300 / 400 °C). Outra maneira seria a utilização de disjuntores limitadores, que reduzem o tempo a alguns ms e impedem a corrente de curto-circuito de atingir o primeiro valor da crista. Experiências realizadas no Instituto de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo (IEE – USP) mostram que correntes de 5,0kA com duração de 3,0 segundos provocam grande aquecimento da barra de aço de 12,5mm e o conseqüente afrouxamento da ligação aço-concreto.

### 7.1.3 – Os arcos nas junções

Os arcos elétricos nas junções das barras constituem o maior risco quando se utilizam as re-bars para condução da corrente do raio, principalmente nas descidas e em especial nos cantos das edificações. A maior incidência dos raios é nos cantos e a divisão das correntes é tal que pela descida correspondente cerca de 50% da corrente, o que corresponde a valores de 50 a 125 kA para os diversos níveis de proteção (usa-se para efeito de cálculo 250kA para o nível I, 150kA para o nível II e 100kA para os níveis III e IV).

Ao longo das colunas de concreto armado, as barras são amarradas entre si pelos estribos através de arame recozido, sem a preocupação de obtenção de um bom contato elétrico, sendo que nas emendas das barras não existe a preocupação com a amarração. Para obtenção da resistência mecânica desejada da coluna de concreto, o cimento entra em contato com toda a secção do aço, não havendo o controle de amarração, uma vez que a finalidade é manter a ferragem no local durante a fundição do concreto.

Quando a corrente do raio passar de uma barra a outra, em virtude da má conexão entre elas surgirá um arco elétrico que provocará a rápida evaporação da água contida no concreto e sua explosão com possíveis riscos para a integridade da coluna. Experiências feitas em junções preparadas especialmente, mostraram que emendas com resistências de contato superiores a 5,0 a 10,0  $\Omega$  não suportam correntes de impulso maiores que 50kA. Portanto, deve-se providenciar uma boa amarração através dos estribos para se ter uma boa divisão da corrente entre as barras verticais das colunas e uma amarração firme entre as barras verticais ao longo da coluna com resistência elétrica inferiores a 20  $\Omega$  para que não haja arcos elétricos. Dessa forma, é preciso treinar o pessoal ou usar barras adicionais dedicadas para minimizar os riscos dos arcos elétricos nas junções.

### 7.1.4 – Os efeitos das descargas elétricas no concreto

Como as correntes dos raios são de alta frequência, com tendência a passar pela periferia do condutor, é de se pensar na possibilidade da barra de aço se soltar do concreto,

diminuindo a resistência mecânica do concreto armado. Experiências feitas fazendo-se passar correntes de impulso de alto valor em barras embebidas em concreto mostraram o destacamento de pequenas placas. Para investigar melhor o efeito peculiar foram realizadas experiências no IEE-USP com barras de ferro embutidas em blocos de concreto e submetidas à passagem de correntes de impulso. Os resultados mostraram que esse efeito não é de causar preocupações para a integridade das vigas e colunas de concreto armado. A verificação foi feita por comparação entre os esforços necessários ao arrancamento da barra de blocos de concreto, com barras submetidas e não submetidas (testemunhas) à passagem de corrente de impulso. Foram utilizadas correntes com valores de crista de até 100kA, não se notando diferenças entre as forças de arrancamento das barras que foram submetidas à passagem de corrente e as testemunhas.

#### **7.1.5 – A execução segura**

Dada à dificuldade do empreiteiro da obra civil poder garantir a continuidade elétrica das conexões, por não dispor de pessoal treinado, e aos possíveis problemas de relacionamento entre as diversas partes de uma obra, a melhor solução poderá ser a utilização de uma ferragem especial dedicada ao sistema de proteção. A ferragem dedicada será constituída por barras soldadas, unidas por conectores de aperto ou por buchas especiais colocadas em todas as colunas e interligadas por outras barras colocadas nas vigas e nas lajes. Teremos assim, em cada piso de um edifício uma “malha de terra” que uniformizará os potenciais de cada andar e à qual será ligada à Barra de Equipotencialização Principal (BEP) dos potenciais do andar. À BEP serão ligados os condutores PE (Terra) e PEN previstos na norma NBR 5410/2004 e os terminais de terra dos protetores ligados aos condutores fase da instalação, quando forem necessários. Se a largura, no caso de edifícios industriais ou comerciais for grande (> 40m) e se houver um Centro de Processamento de Dados (CPD), por exemplo, é conveniente a colocação de barras horizontais formando malhas de 10 x 10 a 10 x 15m. Dessa forma, poderão ser instalados vários BEP para um aterramento em malha. Caso se tenha conhecimento prévio

da localização de um CPD na obra, dever-se-á utilizar nessa parte uma malha mais fechada, usando-se telas soldadas com malha de 10 x 20 cm, por exemplo.

### **7.1.6 – O concreto pré-moldado**

Neste caso as ferragens são, por necessidade do processo de fabricação, muito mais bem amarradas entre si, garantindo-se uma boa distribuição das correntes e uma boa resistência de contato na emenda das barras. De fato, a boa amarração é necessária porque o conjunto da ferragem de uma viga é montado em um local e transportado por guinchos, pontes rolantes ou empilhadeiras para outro local onde é feita a montagem do concreto. Ensaio realizados no IEE-USP mostraram que a conexão de um par de barras suporta correntes de impulso de 80kA. Se o fabricante for avisado providenciará a união de seis ou oito barras de uma viga por uma chapa externa, de modo que a simples montagem da estrutura já garantirá um conjunto de condutores naturais prontos para ser ligados aos captosres e ao aterramento.

O edifício em concreto pré-moldado, uma vez tomadas às precauções acima, se comportará como uma estrutura auto-protégida contra os raios diretos e apresentará uma blindagem razoável para os equipamentos em seu interior, como se fosse uma estrutura de vigas metálicas.

# 8. AS INTERFERÊNCIAS NA CONSTRUÇÃO

## CIVIL E A ACEITAÇÃO PELOS CONSTRUTORES

As tecnologias de Aterramento e SPDA utilizando as estruturas metálicas das edificações, apesar de serem contempladas em edições anteriores das normas NBR 5419/2005 e NBR 5410/2004, ainda apresentam baixos índices de utilização. Ao visitarmos diversas obras no Distrito Federal, observou-se que várias edificações com construções recentes apresentavam os sistemas tradicionais de SPDA e Aterramento, fato que pode ser atribuído ao desconhecimento das normas, bem como na relutância dos construtores e engenheiros civis quanto ao tema.

Na maioria dos casos abordados, os engenheiros civis mostraram-se receosos quanto às implicações estruturais decorrentes da circulação de corrente elétrica pelas vigas de sustentação, o que supostamente poderia ocasionar diminuições nas resistências estruturais das edificações. A maioria dos engenheiros entrevistados se mostrou pouco receptiva na absorção dessas técnicas, persistindo na construção de Sistemas Tradicionais de Aterramento e SPDA.

Um empecilho relatado pelos engenheiros, trata da dificuldade de garantir a continuidade elétrica nas estruturas metálicas e nas suas conexões, uma vez que a normas NBR 5419/2005 e NBR 5410/2004 determinam que a resistência de descida deva ser inferior a 1,0 ohm e a resistência de aterramento inferior a 10,0 ohms. Segundo relatos dos construtores, tal dificuldade reside na operacionalização e implementação das estruturas e de suas continuidades, tarefa executada na maioria das vezes sem orientação técnica e por mão de obra não especializada.

Um fator a ser destacado trata da utilização das barras dedicadas, as Re-Bars, alvo de grande discordância entre os engenheiros. A maioria dos projetos implementados não previa a utilização de tais dispositivos, fato que ressalta a ignorância dos construtores

quanto ao tema. Nesse ponto, o argumento utilizado pelos engenheiros civis era que tais barras exerceriam adicionalmente a função estrutural, descaracterizando o cálculo estrutural das vigas, bem como atuando na formação de arcos voltaicos entre as Re-Bars e as demais barras de sustentação, fato que resultaria no desgaste prematuro das fundações e vigas estruturais de uma edificação. Nos casos onde as Re-Bars eram incluídas nos projetos, tais barras eram substituídas por vigas de ferro fundido CA 25mm e CA 50mm em função da redução dos custos financeiros, fator esse que pode resultar na utilização de barras com impurezas superiores às apresentadas pelas Re-Bars.

Outro aspecto relevante trata da ausência de aterramento das massas metálicas, aqui representadas pelos cercados de piscinas, antenas de televisão, caixas de água metálicas, placas de propaganda, holofotes, rufos metálicos e demais objetos metálicos dispostos no teto, nas fachadas e no interior das edificações. A ausência de aterramento nesses itens pode propiciar a ocorrência de descargas atmosféricas, o que resulta na atuação das massas metálicas como verdadeiros pára-raios, condutores e armazenadores de eletricidade, podendo ocasionar prejuízos financeiros aos equipamentos eletro-eletrônicos existentes no prédio e principalmente acidentes com vítimas, decorrentes das tensões de toque e de passo.

Outro aspecto defendido pelos construtores trata da ampliação dos custos financeiros de execução da obra. Segundo os engenheiros, a aplicação das estruturas metálicas em observância ao que é pressuposto pelas normas NBR 5410/2004 e NBR 5419/2005, amplia em até 40% os custos financeiros da obra, aumento esse decorrente de uma maior utilização de materiais elétricos, conectores e sistemas de proteção, além da ampliação do prazo de conclusão da obra e do tempo gasto com mão de obra, havendo também a necessidade de uma maior especialização do corpo técnico, o que resultaria em maiores gastos com pessoal.

A maioria das 120 edificações vistoriadas dispunha de sistemas tradicionais de SPDA e Aterramento, sendo que menos de 10% das edificações vistoriadas apresentavam Sistemas de Aterramento e SPDA integrados às Estruturas Metálicas. Em alguns casos, foram observadas edificações onde não havia o projeto de SPDA e Aterramento, bem como não era previsto o aterramento para os pontos de tomadas, fato que tipifica o total descumprimento das normas vigentes. Nesses casos, os sistemas de proteção existentes eram meramente decorativos, colocando sobre suspeita a idoneidade dos “construtores”,

ressaltando a falta de compromisso com a segurança das edificações e principalmente dos usuários.

A maioria dos sistemas de Aterramento e SPDA vistoriados apresentaram projetos equivocados, com o dimensionamento errôneo dos sistemas, com a utilização de itens de má qualidade e principalmente com a ausência de manutenções periódicas nos sistemas. Alguns sistemas verificados não apresentavam Barramento Equipotencial Principal (BEP), Superfícies Equipotenciais a cada 20 metros de altura, anéis de aterramento na base da construção e captos naturais, reafirmando a falta de preocupação do projetista com o cumprimento das normas atualmente vigentes. Dessa forma, foram ainda verificados problemas relacionados ao rompimento dos condutores de descida e com a deterioração das estacas de aterramento, propiciando um aumento considerável na resistência de aterramento das edificações. Outro aspecto importante trata da proximidade dos sistemas de proteção verificados com as massas metálicas ou com sistemas de Aterramento e SPDA de outras edificações. Tal fato pode proporcionar a indução de cargas de um sistema em outro, além de resultar na ocorrência de correntes de retorno oriundas de sistemas de aterramento localizados na vizinhança da edificação, podendo ocasionar danos às estruturas e acidentes com os usuários.

Finalmente, nos casos onde foram utilizadas as estruturas metálicas como Aterramento e SPDA, devem - se ressaltar que os projetos desenvolvidos contavam com equipes multidisciplinares, compostas por engenheiros eletricitas, engenheiros civis e arquitetos, havendo a transferência de conceitos e a análise sobre os possíveis implicações nos projetos. Dessa forma, as equipes multidisciplinares tratavam os projetos de forma global, visando à eficiência, o custo benefício, bem como a aplicação intensiva das normas em vigor.

## 9. CONCLUSÕES

O projeto em questão desenvolveu os conceitos de sistemas de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, associados à tecnologia de estruturas metálicas das edificações. Nesse ponto, levaram-se em consideração as legislações e normas de instalações elétricas atualmente em vigor, bem como na observação em campo da efetiva aceitação e aplicação das normas pelos construtores, nos mais diferentes níveis de hierarquia.

Diante do mencionado, constata-se que a tecnologia de utilização das estruturas metálicas, como proteção contra descargas atmosféricas, ainda é pouco explorada. Tal fato pode ser atribuído, provavelmente, em função da resistência dos engenheiros civis, engenheiros de fundações e encarregados de obras com os novos procedimentos, fruto do desconhecimento da ferramenta e da desconfiança quanto a possíveis implicações na durabilidade das fundações e das estruturas de uma edificação. Corrobora com a pouca adesão dos construtores a notória a circulação de corrente através das estruturas metálicas, o que poderia ocasionar o aquecimento e associadamente a perda de eficiência das estruturas, resultando no desprendimento do concreto das armaduras metálicas, fatos fortemente refutados em laboratório pelos pesquisadores do IEE – USP e pela ABNT.

Possibilidade há de as estruturas das edificações serem afetadas com a circulação de correntes oriundas de descargas atmosféricas, se as conexões das armaduras metálicas não atentarem para as prescrições das normas, principalmente quanto aos quesitos de amarração, resistências das descidas, resistência de aterramento e continuidade elétrica.

Parte das oposições encontradas ao cumprimento das normas NBR 5410/2004 e NBR 5419/2005 são oriundas da não obrigatoriedade explicitada em seus textos, que utilizam os termos “utilizar preferencialmente as estruturas metálicas das edificações como condutores de descida e de aterramento”, ao invés de “utilizar obrigatoriamente as

estruturas metálicas das edificações de descida e de aterramento”. Dessa forma, em novas edificações, seria obrigatória a utilização de tal tecnologia, restando apenas às edificações antigas à utilização de condutores de descida de aterramentos exteriores à estrutura, uma vez que não foram previstas as descidas e os aterramentos naturais, não havendo, portanto, a preocupação com a continuidade elétrica das armaduras.

Deve-se destacar o papel desempenhado pelas superfícies equipotenciais, fazendo com que todas as estruturas localizadas no mesmo pavimento estejam submetidas ao mesmo potencial, evitando diferenças de tensão elétrica entre quaisquer pontos nesta estrutura de equalização. Deste modo, esta superfície de equalização pode ter momentaneamente o seu potencial elevado em relação ao solo, mas toda a estrutura ficará com o mesmo potencial, evitando faiscamentos e riscos quanto à segurança humana.

Outro aspecto importante trata da utilização obrigatória de barras dedicadas exclusivamente à condução de correntes de descargas atmosféricas, as re-bars, desde que observados os procedimentos de amarração e de continuidade descritos nas normas. A eficiência de tais dispositivos é questionada ou mesmo desconhecida pela grande maioria dos engenheiros civis, o que não desobriga utilização deste dispositivo, bem como não isenta possíveis danos causados pelo não cumprimento das normas.

Deve-se ainda relatar as implicações financeiras, funcionais e estéticas do uso das estruturas metálicas das edificações como proteção contra choques elétricos, em virtude das reduções de custos do uso das próprias estruturas metálicas como sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e sistemas de proteção contra choques elétricos (aterramento), comparativamente aos sistemas externos tradicionais. Quanto às questões funcionais, verificam-se índices de resistência de aterramento inferiores aos encontrados nos sistemas tradicionais, fato atribuído principalmente à profundidade dos eletrodos de aterramento e da existência de água no concreto das fundações, o que melhora de forma sensível o desempenho do aterramento das edificações que utilizam tal tecnologia. Em relação aos aspectos estéticos, a utilização das estruturas é de suma importância na escolha dessa técnica, pois não se observa a presença de verdadeiras malhas de aterramento das laterais das edificações, propiciando um aspecto mais limpo e agradável, propiciados pela abolição de condutores de descida expostos sobre a superfície das edificações.

Para que haja a adesão maciça por parte dos engenheiros civis e construtores aos novos sistemas de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas, baseados na utilização das próprias estruturas metálicas das edificações, é necessária uma maior disseminação das normas, a custos acessíveis, favorecendo um maior conhecimento e uma maior explanação das normas pelos construtores. Destaca-se, ainda, que a obrigatoriedade de utilização das estruturas metálicas deverá acontecer sob a forma de portaria ministerial, associada às normas regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), mais especificamente à NR-10, que normatiza as diretrizes técnicas em projetos de instalações elétricas.

Ante ao exposto, intenta-se ampliar a aplicação das normas NBR 5410/2004 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), NBR 5419/2005 (Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas) e NR-10 (Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho) nos canteiros de obras do Distrito Federal, favorecendo a construção de edificações mais seguras do ponto de vista elétrico e mais eficazes no tratamento de descargas atmosféricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT: NBR 5419 (2005): **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**, Associação Brasileira de Normas Técnica, 2005;
- [2] ABNT: NBR 5410 (2004): **Instalações elétricas de baixa tensão**, Associação Brasileira de Normas Técnica, 2004;
- [3] Kindermann, Geraldo; Campagnolo, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**, Florianópolis: Edição do autor; 5ª ed., 2002;
- [4] Kindermann, Geraldo. **Curto-circuito**, Florianópolis, Edição do autor, 2ª ed., 2002;
- [5] Kindermann, Geraldo. **Descargas Atmosféricas**, Florianópolis, Edição do autor, 3ª ed., 2002;
- [6] Kindermann, Geraldo. **Choque Elétrico**, Porto Alegre: Sagra DC Luzzatto, 22ª ed., 2000;
- [7] Kindermann, Geraldo. **Aterramento Elétrico**, Porto Alegre: Editora Sagra DC Luzzatto, 3ª edição, 1995;
- [8] Kindermann, Geraldo. **Proteção de Sistema Elétricos de Potência**, Porto Alegre: Editora Sagra DC Luzzatto, 1ª edição, 1999.
- [9] Mamede, João F. **Instalações Elétricas Industriais**, Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros Técnicos Científicos S.A, 6ª ed., 2002;
- [10] Cotrim, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**, São Paulo: Prentice Hall, 4ª ed., 2003;
- [11] Creder, H. **Instalações Elétricas**, Rio de Janeiro: Editora LTC, 12ª ed., 1991;
- [12] Leite, D.; Leite, C. M. **Proteção contra Descargas Atmosféricas**, São Paulo: MM Editora, 1993;
- [13] Niskier, Júlio A. J. M. **Instalações Elétricas**, Rio de Janeiro, Editora LTC, 5ª ed., 2002;

- [14] MTE: NR 10 (2006), **Instalações e Serviços em Eletricidade. Manual de Segurança e Medicina no Trabalho**, Ministério do Trabalho e Emprego, 2005;
- [15] Lins, Ênio C., Efatá Projeto Elétricos, **Manual de Detalhamentos Executivos em Pára – Raios**, Brasília-DF, 2006.
- [16] Coutinho, Fernando N.; Altoé, Cássio A., **Levantamento de Estruturas que necessitam de SPDA na UnB e Análise de seus Efetivos Sistemas de Proteção Atmosféricas**, Projeto Final de Graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2003.
- [17] Silva, Noemi S. A; Júnior, Carlos Alberto F. M., **Minimização de Riscos de Choque Elétrico e Danos a Equipamentos por meio de Aterramento Adequado**, Projeto Final de Graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2004.
- [18] <http://www.inpe.gov.br>, consultas em 15.07.2006, 10.08.2006 e 12.09.2006.
- [19] <http://www.raios.com.br>, consultas em 15.07.2006, 10.08.2006, 12.09.2006.

## ANEXOS

### Estruturas Tradicionais de SPDA:

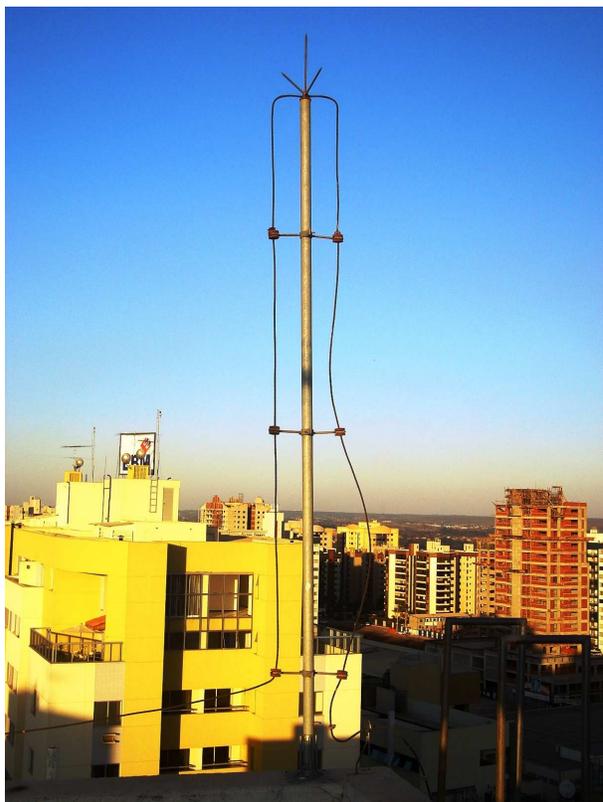


Figura A1: Detalhamento Captor Franklin



Figura A3: Detalhamento das Descidas



Figura A2: Detalhamento Suporte Captor



Figura A4: Detalhamento da Malha



Figura A5: Detalhamento das Descidas



Figura A7: Detalhamento dos Isoladores

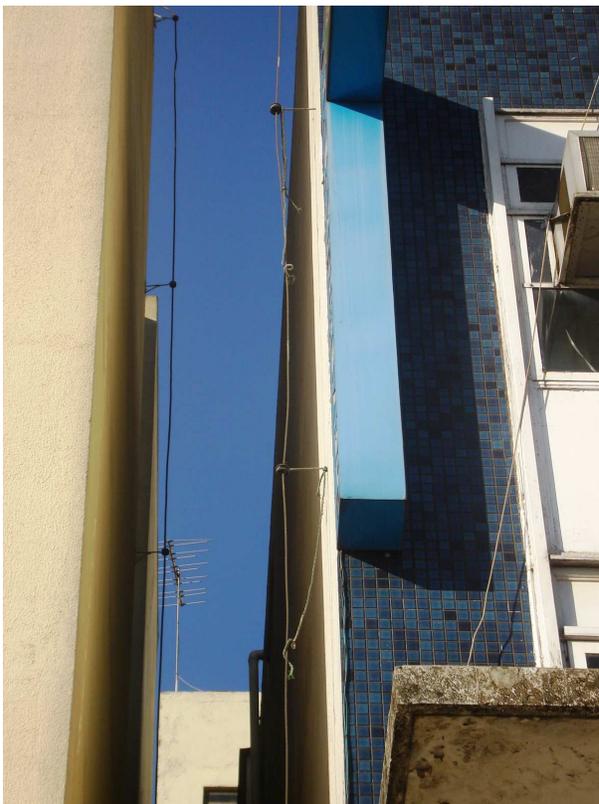


Figura A6: Detalhamento das Descidas



Figura A8: Pára-Raios Franklin



Figura A9: Condutor de Descida



Figura A11: Condutor de Descida

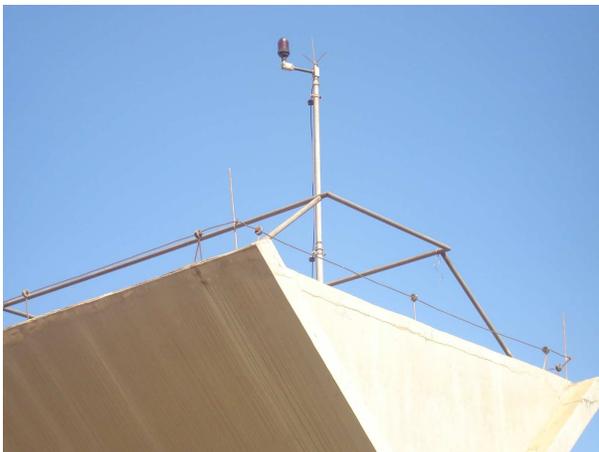


Figura A10: Pára-Raios Franklin



Figura A12: Aterramento

## SPDA e Aterramento utilizando as Estruturas Metálicas das Edificações



Figura A13: Estaqueamento do terreno



Figura A16: Detalhamento do Tubulão



Figura A14: Sistema de Tubulão



Figura A17: Detalhamento Aterramento



Figura A15: Detalhe Barra de Aterramento



Figura A18: Detalhamento Conexão



Figura A19: Detalhamento Pé do Pilar



Figura A22: Anel de Aterramento



Figura A20: Detalhe Amarração



Figura A21: Detalhamento das Vigas

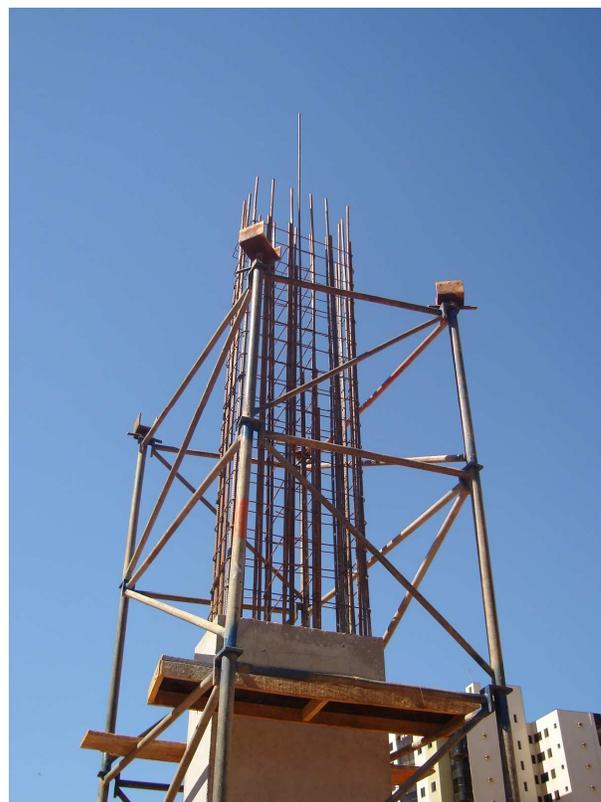


Figura A23: Detalhe Estrutura Metálica



Figura A24: Caixa de Inspeção



Figura A27: Conexão Malha Aterramento



Figura A25: Barramento Equipotencial



Figura A28: Conexão Malha Aterramento

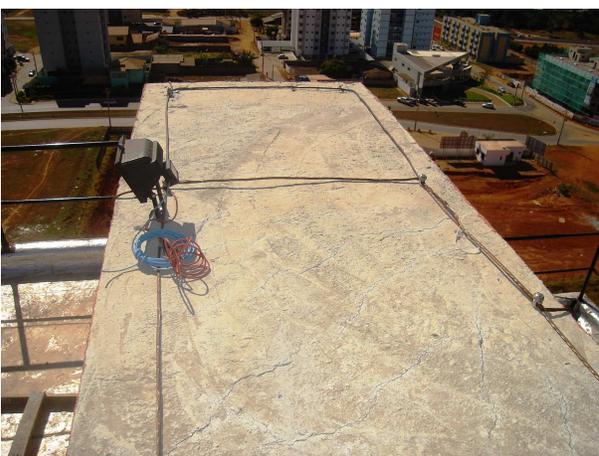


Figura A26: Malha de Aterramento



Figura A29: Conexão Malha Aterramento



Figura A30: Aterramento Massa Metálica

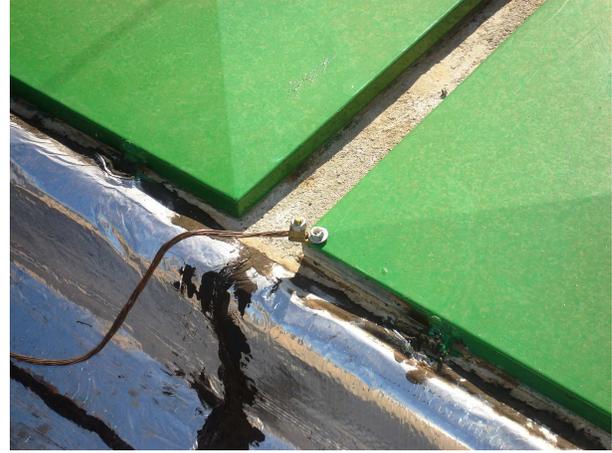


Figura A33: Aterramento Massa Metálica



Figura A31: Aterramento Massa Metálica



Figura A34: Fixação Malha Aterramento



Figura A32: Aterramento Antena TV



Figura A35: Placa como Pára-Raios Natural